



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1990

743

Matti Sirén

PIENET HAKKUUKONEET VARHAISISSA
HARVENNUSHAKKUISSA. NSR-TUTKIMUS

Small multi-function machines in early thinning operations.
A joint Nordic NSR-study

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 857 051
Phone:

Telex: 121286 metla sf
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 743

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1990

Matti Sirén

PIENET HAKKUUKONEET VARHAISISSA HARVENNUSHAKKUISSA. NSR-TUTKIMUS

Small multi-function machines in early
thinning operations. A joint Nordic NSR-study

Approved on 26.1.1990

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. TUTKITUT HAKKUUKONEET	4
3. AJANKÄYTTÖ JA TUOTTAVUUS	6
31. Telakarhu	6
32. Nokka Joker	8
33. Finntrac	9
331. Finntrac varustettuna Tapio 250 -harvesterilla	9
332. Finntrac varustettuna Keto 51 -harvesterilla	11
4. KORJUJÄLKI	12
41. Korjuuvaurioiden määrä ja laatu	12
42. Ajourien määrä ja laatu	13
5. VERTAILUTUTKIMUS YKSI- JA KAKSIOTEHARVESTERISTA TIHEÄPUUSTOIS- SESSA ENSIHARVENNUKSESSA	14
51. Tutkimuksen taustaa	14
52. Tutkimusolot ja -menetelmä	16
53. Tutkimustulokset	17
531. Ajankäyttö ja tuottavuus	17
532. Liikemäärät	19
533. Runkovauriot	20
534. Puutavaran ja kasojen laatu	20
6. TULOSTEN TARKASTELU	21
7. YHDISTELMÄ	25
KIRJALLISUUS	26
SUMMARY	27
LIITE	28

Sirén, M. 1990. Pienet hakkuukoneet varhaisissa harvennushakkuissa. NSR-tutkimus. Summary: Small multi-function machines in early thinning operations. A joint Nordic NSR-study. Folia Forestalia 743.29 p.

Tutkimus koostuu pienistä hakkuukoneista tehdyistä aikatutkimuksista sekä vertailututkimuksesta, jossa yksi- ja kaksiotharvesterin työskentelyä tutkittiin samalaisissa työoloissa.

Pienten hakkuukoneiden tuottavuus riippui voimakkaasti työoloista, erityisen paljon vaikuttivat kertymä ja maasto. Tutkittaessa samaa konetta harvesterina ja prosessorina harvesteri oli taloudellisempi ratkaisu. Rungas markkinakelvoton aluspuusto vaikeutti työskentelyä. Joissakin tapauksissa saattaa olla taloudellista raivata leimikko miestyönä ennen konehakkuuta.

Vastaavissa olosuhteissa yksiotharvesteri oli kaksiotharvesteria parempi sekä tuottavuudeltaan että korjuujäljeltään. Ajourien kaventaminen lisäsi runkokoh- taista ajanmenekkiä ja jäävän puuston vaurioitumisris- kiä.

Keskimääräinen vaurioprocentti tutkimustyömailla oli 5,0. Vauriot olivat pääosin lieviä runkovaurioita. Pieni hakkuukone liikkuu leimikolla paljon. Urat ovat kuitenkin kapeita, ja useimmilla urilla hakkuukone liikkuu vain kerran, jolloin seurausvaikutukset eivät ole verrattavissa metsäkuljetusurien vaikutuksiin.

Pienet hakkuukoneet ovat varteenotettava vaihtoehto koneelliseen ensiharvennukseen. Koneiden hankinta- hinnat eivät kuitenkaan saa oleellisesti nousta nykyises- tään, ja tekninen käyttöaste on saatava suurempien hakkuukoneiden tasolle kilpailukyvyn säilyttämiseksi.

The study composes of separate time studies and a comparative study, in which small one-grip and two-grip harvesters were studied in similar conditions.

The output of small multi-function machines depended much on conditions. Terrain and yield/ha had a great influence on output. Unmerchantable under- growth lowered the output of machines. In some cases it may be economical to do the manual cleaning before the cutting.

When the same machine was used as a processor and as a harvester, the harvester proved more economic. When comparing one- and two-grip harvesters in similar conditions, the one-grip harvester had better output and harvesting trace. With very narrow strip roads effective time consumption per tree and damage risk were higher than with normally used strip road widths.

The average damage % in study stands was 5.0. Most of damage was superficial stem damage. Small multi- function machines move a lot in the stand. However, strip roads are narrow, and on most strip roads the machine moves only once. The losses due to these strip roads are smaller than losses of forwarding strip roads.

Small multi-function machines are one viable alternative for mechanized first thinnings. However, the prices of these machines should stay at reasonable level, and the technical availability should reach the level of larger machines to keep these small machines competitive.

Keywords: mechanization, thinning, thinning damage. ODC 333 + 461.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Technology, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-1084-1
ISSN 0015-5543

Helsinki 1990. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Ensiharvennus on tärkeä metsänhoidollinen toimenpide, jonka merkitys näkyy metsien terveydentilassa, tulevaisuuden hakkuumahdollisuuksissa ja puun laadussa. Tämän vuoksi ensiharvennusten tekeminen ajallaan on metsätaloudelle elintärkeää. Viime vuosikymmenien laajamittainen uudistustoiminta ja ojitustoiminta ovat lisänneet harvennustarvetta (Ensiharvennustyöryhmän muistio 1988). Vaikka harvennushakkuiden määrä onkin noussut 1970-luvun aallonpohjasta, ensiharvennuksia on jäänyt 1980-luvullakin tekemättä noin 60 000 ha/vuosi. Hakkuurästit mukaanlukien ensiharvennustarve on 1990-luvulla noin 290 000 ha/vuosi, josta yksityismetsien osuus on 200 000 ha/vuosi. Jos markkinakelpoisen leimikon vähimmäiskertymäksi asetetaan 20 m³/ha mitta- ja laatuvaatimukset täyttävää puutavaraa, koko tämä ala ei kuitenkaan tuota myyntikelpoista puutavaraa. Markkinakelvottomien ensiharvennusleimikoiden pinta-ala on noin 70 000 ha/vuosi (Ensiharvennustyöryhmän muistio 1988). Eräitä ratkaisuvaihtoehtoja näiden leimikoiden hoitamiseen ovat taimikonhoidon laajentaminen ja kokopuukorjuu. Tällä hetkellä ensiharvennuksista kertyy puuta 2 milj. m³/vuosi, ja jos kaikki tarvittavat ensiharvennuksista tehdään, saadaan ensiharvennuksista 6—7 milj. m³ vuodessa eli noin 10 % koko hakkuumäärästä.

Lilleberg & Raitanen (1989) ovat selvittelleet ensiharvennustarvetta 15 eteläisimmän metsälautakunnan ja Ahvenanmaan alueella. Harvennustavoite vuosille 1988—1991 on kaikkiaan 239 000 ha/vuosi, jolloin tehtäisiin myös aiemmin kertyneitä rästejä, ja vuosille 1991—2000 182 000 ha/vuosi. Ensiharvennustarve on keskimäärin 75 000 ha vuodessa. Ensiharvennuksiset keskittyvät tällä hetkellä mäntyvaltaisiin metsiin, kun taas myöhemmät harvennuksiset ovat kuusivaltaisia. Ensiharvennusleimikoista on mäntyvaltaisia 69 %, kuusivaltaisia 14 % ja lehtipuuvaltaisia 17 %. Hehtaariohtainen kertymä mäntyvaltaisissa ensiharvennusleimikoissa on keskimäärin 34,6 m³, kuusivaltaisissa 50,4 m³ ja lehtipuuvaltaisissa 55,4 m³. Poistettavan rungon keskikoko on 51 dm³. Korjuuolot ovat vaikeammat Pohjois-Suomessa johtuen pienemmästä kertymästä ja rungon koosta.

Ruotsissakin on kertynyt harvennusrästejä. Vuosina 1973—1982 harvennettiin vain 65 % siitä pinta-alasta, joka Riksskogstaxeringin mukaan olisi ollut harvennuksen tarpeessa. Seuraavan viiden vuoden aikana harvennustarve on yhteensä 2,6 milj. ha, josta ensiharvennuksia on 1,5 milj. ha. Vuositainen harvennusmäärä tulee nostaa nykyisestä 250 000 ha:sta 500 000 ha:iin, josta ensiharvennuksia olisi 300 000 ha/vuosi (Brunberg 1988).

Hakkuukoneiden tekninen kehitys ja viime aikoina myös puute hakkuumiehistä erityisesti Etelä-Suomessa ovat kiihdyttäneet puunkorjuun koneellistamista. Avohakkuussa ja myöhäisissä harvennuksissa koneellinen korjuu on useimmissa tapauksissa kustannuksiltaan miestyötä edullisempaa (Eskelinen 1988), mutta ensiharvennuksissa miestyöhakkuu on sitä vastoin edelleen edullisin menetelmä. Tosin päivävästaisiäkin tutkimustuloksia on jo kuusikon ensiharvennuksesta esitetty (Mäkelä 1989b).

Ensiharvennuskohteisiin on kehitetty erilaisia menetelmä- ja korjuuratkaisuja. Kokoja osapuukorjuu ovat saaneet jalansijaa erityisesti Ruotsissa, mutta ne eivät ole osoittautuneet kokonaisratkaisuksi. Tavaralajimenetelmään perustuvia kokeiluja ensiharvennusten koneellistamiseksi tehtiin 1970-luvun lopulla muun muassa Makeri hakkuukoneella. Silloisessa tilanteessa ne eivät olleet taloudellisesti kilpailukykyisiä. Samoin riittämätön maastokelpoisuus ja koneiden työskentelytavan aiheuttamat juurivauriot aiheuttivat ongelmia Suomen oloissa. Kone on kuitenkin menestynyt Keski-Euroopassa.

Viime vuosina hakkuukoneiden tekninen kehitys on ollut nopeaa. Yksioteharvestereista on tullut yleisin monitoimikonetyyppi Pohjoismaissa. Lisääntyneen kysynnän myötä mahdollisuus tuotekehittelyyn on kasvanut. Koneissa on entistä paremmin pystytty yhdistämään tehokkuus, ergonomia ja hyvän korjuujäljen vaatimukset. Samalla kuitenkin myös koneiden hankintahinnat ovat kohonneet. Tällä hetkellä keskikokoisten yksioteharvestereiden hinnat liikkuvat 1—1,5 miljoonan markan välillä. Korkea hinta asettaa niille suuret tuntituotovaatimukset. Kun jäävä puusto ja poistettavien puiden metsän-

hoidollinen valinta asettavat lisävaatimuksia työkoneiden kuljettajille, ei työskentely kalliilla hakkuukoneilla yleensä ole pienirunkoisissa leimikoissa taloudellista.

Ensiharvennuspuun korjuussa tavaralajimenetelmällä on kaksi koneellistamisen kehittämislinjaua. Joko kehitetään työkoneita, joilla useitten runkojen samanaikainen käsittely on mahdollista, tai käytetään pääomakustannuksiltaan edullisempia työkoneita. Molemmat kehityslinjat ovat tutkimuksen kohteena. Ruotsissa pienten puiden joukkokäsittelyn tutkimiseen panostetaan voimakkaasti, ja eräitä markkinoilla olevia yksi- ja kaksiotharvestereita on jo käytetty joukkokäsittelyyn.

Käytännössä pidemmälle edennyt kehityslinja on pienikokoisten ja hankintahinnaltaan edullisempien hakkuukoneitten käyttö. Myös maataloustraktoriperustaiset hakkuukoneet edustavat tätä kehityslinjaua. Kevyet, massaltaan noin 5 tonnin ja leveydeltään alle 2 metrin hakkuukoneet pystyvät liikkumaan myös jäävän puuston seassa vaatimatta leveyttä, kasvutappioita aiheuttavia ajouria. Ruotsin oloissa pienen hakkuukoneen lasketaan olevan helppossa maastossa kilpailukykyinen 70 dm³:n rungon kokoon asti ja vaikeissa olosuhteissa 40 dm³:n rungon kokoon asti, jos sen tuntikustannus on enintään 80 % ajouralta toimivan suuremman koneen tuntikustannuksesta (Scherman 1988).

Harvennuspuun koneellistamista on vuodesta 1987 tutkinut Metsäntutkimuslaitoksen johtama yhteispohjoismainen NSR-projekti ”Flerträdsteknik och skonsamma maskiner i förstagallring”, jossa pienten puiden joukkokäsittely ja pienet hakkuukoneet ovat keskeisiä tutkimusaiheita. Projektin alkaessa pienet hakkuukoneet olivat vasta tulossa Suomen markkinoille, minkä vuoksi tutkimukseen oli vaikeaa löytää työkoneita ja kokeneita kuljettajia. Pienten hakkuukoneiden määrä on kuitenkin voimakkaasti lisääntymässä. Metsäkoneiden myyntitilaston (Metsäkoneiden . . . 1988) mukaan niitä oli Suomessa vuoden

1988 loppuun mennessä myyty 25 kpl, joista 3 oli prosessoreita ja loput harvestereita.

Käsillä oleva tutkimus liittyy NSR:n projektiin. Tutkimuksessa on selvitetty pienten hakkuukoneiden soveltuvuutta eri olosuhteisiin. Koska tutkimuksen alkaessa hakkuukoneet olivat pääosin prosessoreita, on kaksiotharvestereista tutkittu sekä prosessoreita että harvestereita. Koska eri hakkuukoneista kerätyt aineistot ovat erilaisista työoloista, ei konemerkkien suora vertaaminen ole mahdollista.

Yksittäisten aikatutkimusten lisäksi järjestettiin yhteistyössä Myllykoski Oy:n metsäosaston kanssa yksi- ja kaksiotharvesterien työskentelyä selvittävä vertailututkimus. Koneityyppien vertailuun tarvitaan samanlaiset olosuhteet, ja tähän tarjosivat Myllykoski Oy:n koetoimintaan tarjoamat tiheäpuustoiset istutuskuusikot mahdollisuuden. Myllykoskella tutkittiin normaalia aikatutkimusta laajemmin kahden hakkuukoneen työskentelyperiaatetta. Tämä koe on esitetty omana lukunaan.

Tutkimusaineistot kerättiin vuosina 1987-1989 Mynämäen, Kankaanpään, Jyväskylän ja Kouvolan ympäristöstä. Tutkimusleimikot sijaitsivat Rauma-Repola Oy:n, Osuuskunta Metsäliiton, Myllykoski Oy:n, Tehdaspuu Oy:n ja Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n työmailla. Lukuisille näiden yhtiöiden metsäammattimiehille haluan esittää kiitokseni. Erityisesti haluan kiittää Myllykoski Oy:n metsäosastoa, joka tarjosi mahdollisuuden menetelmävertailuun istutuskuusikoissaan Myllykoskella.

Urakoitsijat Jukka Hautala, Matti Utriainen ja Toivo Lastama, Väinö Pulli, Juha Vuori ja Hannu Sirén mahdollistivat ammattitaidollaan ja myönteisellä suhtautumisellaan aineiston keruun. Myös tutkimuskoneiden valmistajat, Pekka Saari Ky ja Nokka Forest Oy, auttoivat tutkimuksen toteuttamisessa.

Metsäntutkimuslaitokselta aineiston keruuseen osallistuivat Erkki Salo, Tapio Nevalainen, Jari Ala-Ilomäki, Veijo Salo ja Tapio Järvinen. Professori Pentti Hakikila on auttanut tutkimuksen suunnittelussa ja käsikirjoituksen laatimisessa. Maija Tuuri on huolehtinut tekstinkäsittelystä. Kaikille edellä mainituille haluan esittää kiitokseni.

2. TUTKITUT HAKKUUKONEET

Tutkimus aloitettiin seuraamalla ensimmäisenä Suomen markkinoille tullutta silloisen Pekka Saari Ky:n Telakarhu 2000 Multiworker -telamaasturia varustettuna Pika 36

-prosessorilla. Kun koneesta tuli markkinoille harvesteriversio Pika 37 -kaatopäällä varustettuna, se otettiin mukaan tutkimukseen. Kuljettajan vaikutuksen eliminoimiseksi har-



Kuva 1. Telakarhu-kaksioteharvesteri työssä.
 Fig. 1. Telakarhu two-grip harvester at work.

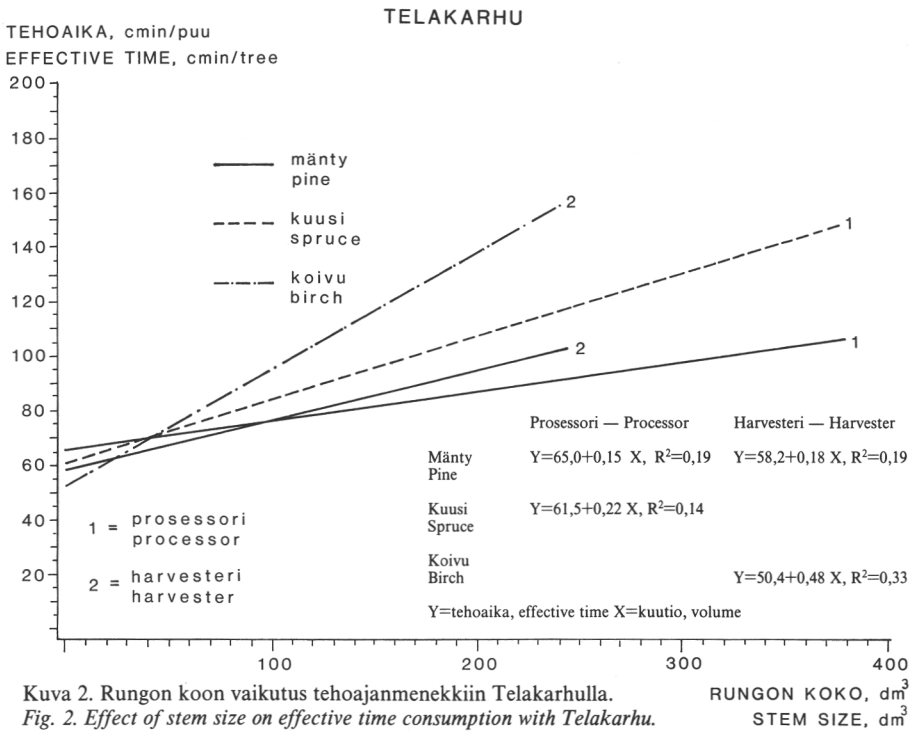
vesteria tutkittiin yhdellä leimikolla kaatamalla puut miestyönä ja käyttämällä konetta prosessorina. Hakkuukoneita käytettiin aluksi usein myös metsäkuljetukseen. Näin myös Telakarhua (kuva 1).

Vuoden 1988 aikana tutkittiin Nokka-koneet Oy:n Nokka Jokeria varustettuna Hakki 400 -prosessorilla ja Nokka-kaatopäällä. Nokka Joker poikkeaa Telakarhusta siten, että siinä on terästelat telamaastureissa yleensä käytettyjen kumitelamattojen asemasta. Vuoden 1988 aikana myös pienet yksioteharvesterit alkoivat olla valmiita tutkittaviksi. Tutkimuskoneeksi valittiin Pekka Saari Ky:n Finntrac 4000 GS -harvesteri. Konetta tutkittiin kahdella monitoimiosalla, Kone Ketonen Oy:n Keto 51:llä ja Soinin Metallin Tapio 250:llä varustettuna.

Markkinoilla nyt olevista pienistä hakkuukoneista jäivät tutkimuksen ulkopuolelle Normetin Farmi Trac -yksioteharvesteri, FMG 0470 Moto Kärppä sekä Terri-tela-

maasturista tehty harvesteri, sillä ne tulivat markkinoille vasta tutkimuksen kenttätöitten jo käynnistyttyä. Farmi Tracista on kuitenkin olemassa muita suomalaisia tutkimustuloksia (Mäkelä 1989 a ja b). FMG Moto Kärppää, joka Ruotsin markkinoilla kulkee nimellä Lillebror, ovat Ruotsissa tutkineet Brunberg & Nilsson (1988). Tapio 250 -harvesterilla varustettua Terri-telamaasturia on myös tutkittu Ruotsissa (Risberg 1988, Karlsson 1988).

Tutkimuksen tuloksiin on saattanut vaikuttaa, että tutkitut hakkuukoneet ovat olleet markkinoilla vasta vähän aikaa, ja ns. lastentauteja on esiintynyt. Myös yrittäjät ovat usein alalla uusia, monet aiempia metsureita. Tämänkin tutkimuksen koneyrittäjiä ainoastaan Telakarhu-harvesterin omistajalla oli aiempaa kokemusta urakoinnista, muilla yrittäjillä kyseessä oli ensimmäinen metsäkone. Tutkimuskoneiden tekniset tiedot on esitetty liitteessä 1.



Kuva 2. Rungon koon vaikutus tehoajanmenekkiin Telakarhulla.

Fig. 2. Effect of stem size on effective time consumption with Telakarhu.

3. AJANKÄYTTÖ JA TUOTTAVUUS

31. Telakarhu

Vuoden 1987 aikana tutkittiin kahta hakkuukonetta, joista toinen oli prosessori ja toinen harvesteri. Tutkimusaineiston koko oli 5884 runkoa, yhteensä 502 m³. Aineisto käsitti sekä harvennus-, suojuspuu- että avohakkuuta. Kuitupuun tehtiin 3-metriseksi. Leimikoiden työolot ja hakkuukoneiden tehotuntituotokset on esitetty taulukossa 1.

Rungon koon vaikutus tehoajanmenekkiin harvennusoloissa on esitetty kuvassa 2. Taulukossa 2 on esitetty käyttöajan jakautuminen eri työvaiheisiin. Alle 15 minuutin keskeytysten syyt jakautuivat seuraavasti:

Keskeytyksen syy	Osuus keskeytyksistä, %	
	Prosessori	Harvesteri
Työn suunnittelu	46,4	1,5
Hydrauliikka	10,2	0,0
Prosessoriosa	25,7	16,5
Kaatopää	—	80,0
Nosturi	9,3	0,0
Peruskone	4,8	2,0
Huolto	3,6	0,0
Yhteensä	100,0	100,0

Koska kuljettajan ja työolojen vaikutusta yksittäisiin aikatutkimustuloksiin on vaikeata määrittää, tutkittiin Telakarhua harvennuskäytössä käyttämällä samaa hakkuukonetta sekä prosessorina että harvesterina, jolloin kuljettajan ja käyttöolosuhteiden vaikutus eliminoitui. Tutkimusolot ja tehotuntituotokset on esitetty taulukossa 3. Kuvassa 3 on esitetty runkokohtaiset tehoajanmenekit rungon koon funktiona prosessorilla ja harvesterilla. Erot ovat varsin pienet.

Runkokohtainen teho aika vertailutyömaalla oli prosessorilla keskimäärin 51,9 cmin/runko ja harvesterilla 56,4 cmin/runko. Runkokohtaiset tehoajat jakautuivat seuraavasti:

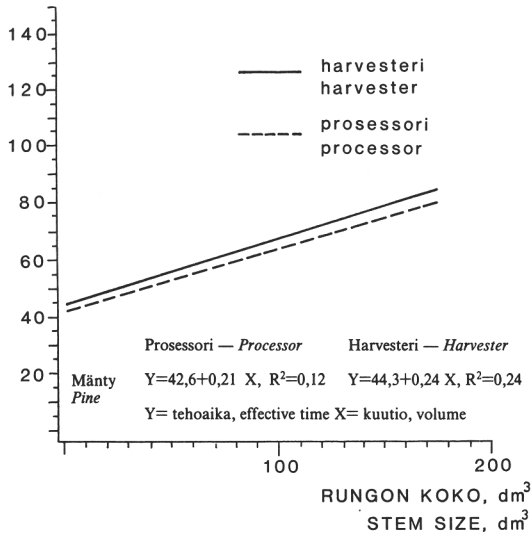
Työvaihe, %	Prosessori	Harvesteri
Kouran vienti puulle	35,0	28,6
Asettelu ja katkaisu	—	13,6
Puun vienti prosessorille	28,8	26,8
Karsinta ja katkonta	36,2	31,0
Yhteensä	100,0	100,0

Taulukko 1. Tutkimusleimikoiden rakenne ja tuotokset Telakarhu-monitoimikoneella.
Table 1. Study stands and output with Telakarhu multi-function machine.

	Harvennushakkuu Thinning		Suojuspuuhakkuu Shelterwood cutting		Avohakkuu Clear cutting	
	Pro- essori Processor	Harves- teri Harvester	Pro- essori Processor	Pro- essori Processor	Harves- teri Harvester	
Pinta-ala, ha Area, ha	2,1	1,0	1,85	1,1	0,7	
Maastoluokka Terrain class	1	2	1	2	1	
Runkoluku/ha Number of stems/ha						
ennen harvennusta before thinning	1250	1658	582	776	1791	
harvennuksen jälkeen after thinning	717	826	382			
Puulajisuhteet, % kertymästä Distribution of tree species, %						
mänty — pine	30	60	30	49	85	
kuusi — spruce	70	2	70	42	—	
koivu — birch	—	38	—	9	15	
Kertymä — Removal runkoa/ha stems/ha	533	832	382			
m ³ /ha	59,1	44,3	128,0	102,5	68,0	
Rungon koko, dm ³ Stem size, dm ³	110	53	335	132	48,0	
Tehotuntituotos, m ³ Output/effective hour, m ³	5,9	3,8	10,2	8,6	4,6	

TELAKARHU

TEHOAIKA, cmin/puu
EFFECTIVE TIME, cmin/tree



Kuva 3. Telakarhu-harvesteri ja -prosessori samalla leimikolla. Rungon koon vaikutus tehoajanmenekkiin.
Fig. 3. Telakarhu harvester and processor on the same stand. Effect of stem size on effective time consumption.

Taulukko 2. Telakarhu-monitoimikoneen käyttöajan jakautuminen.

Table 2. Distribution of operating time with Telakarhu multifunction machine.

Työvaihe Work element	Proessori Processor % käyttäjästä % of operating time	Harvesteri Harvester
Siirtyminen Moving	14,5	15,3
Valmistelu Preparation	3,0	0,9
Kouran vienti puulle ja tarttuminen Crane out to the tree	19,0	21,5
Asettelu ja kaato Positioning and felling	—	11,6
Vienti prosessorille Tree to the processor	22,5	19,9
Karsinta ja katkonta Delimiting and bucking	25,0	24,2
Hakkuutähteiden järjestely Moving slash	9,3	1,6
Puutavaran järjestely Rearranging piles	1,5	0,1
Keskeytykset Delay	5,2	4,9
Yhteensä Total	100,0	100,0

Taulukko 3. Telakarhu-monoitokone prosessorina ja harvesterina samalla leimikolla. Tutkimusolot ja tehotuntituotokset.

Table 3. Telakarhu multi-function machine used as processor and harvester on the same stand. Study conditions and output.

	Prossessori Processor	Harvesteri Harvester
Pinta-ala, ha Area, ha	1,87	2,35
Maastoluokka Terrain class	1	1
Runkoluku/ha Number of stems/ha ennen harvennusta before thinning	1322	1442
harvennuksen jälkeen after thinning	861	974
Puulajisuhteet, % kertymästä Distribution of tree species, %		
mänty — pine	100	100
kuusi — spruce	—	—
koivu — birch	—	—
Kertymä — Removal runkoa/ha stems/ha		
m ³ /ha	21,9	22,4
Rungon koko, dm ³ Stem size, dm ³	47,4	47,9
Tehotuntituotos, m ³ Output/effective hour, m ³	3,9	3,7

32. Nokka Joker

Hakki 400 -prossessorilla ja Nokka-kaato-päällä varustettua Nokka Jokeria tutkittiin vuonna 1988 kahdessa leimikossa Jyväskylän lähistöllä. Koneen kuljettajalla oli aiempaa kokemusta hakkuukoneurakoinnista maataloustraktorilla ja vajaan vuoden kokemus tutkimuskoneesta, ja hänen ammattitaitonsa oli hyvä.

Ensiharvennusleimikossa, jossa hakkuukonetta tutkittiin toukokuun lopulla, oli lunta noin 40 cm. Kesäkuussa konetta tutkittiin varttuneessa harvennusmetsässä. Molempien leimikoiden maastoluokka oli 1. Nokka Joker teki tutkimustyömailla kuitupuun 4—6-metriseksi rangaksi. Tutkimusleimikoiden työolot ja koneiden tehotuntituotokset on esitetty taulukossa 4. Rungon koon vaikutus runkokohtaiseen tehoajanmenekkiin on esitetty kuvassa 4.

Nokka Jokerin käyttöaika jakautui tutkimusleimikoilla taulukon 5 mukaisesti. Alle

Taulukko 4. Nokka Joker -kaksioteharvesterin tutkimusleimikoiden olosuhteet ja tuotokset.

Table 4. Study stands and output with Nokka Joker two-grip harvester.

	Ensiharvennus First thinning	Väljennysshakkuu Last thinning
Pinta-ala, ha Area, ha	1,28	1,80
Maastoluokka Terrain class	1	1
Runkoluku/ha Number of stems/ha ennen harvennusta before thinning	1620	550
harvennuksen jälkeen after thinning	1070	407
Puulajisuhteet, % kertymästä Distribution of tree species, %		
mänty — pine	89	83
kuusi — spruce	6	15
koivu — birch	5	2
Kertymä — Removal runkoa/ha stems/ha	550	143
m ³ /ha	34,9	45,1
Rungon koko, dm ³ Stem size, dm ³	63,5	314,3
Tehotuntituotos, m ³ Output/effective hour, m ³	5,1	14,2

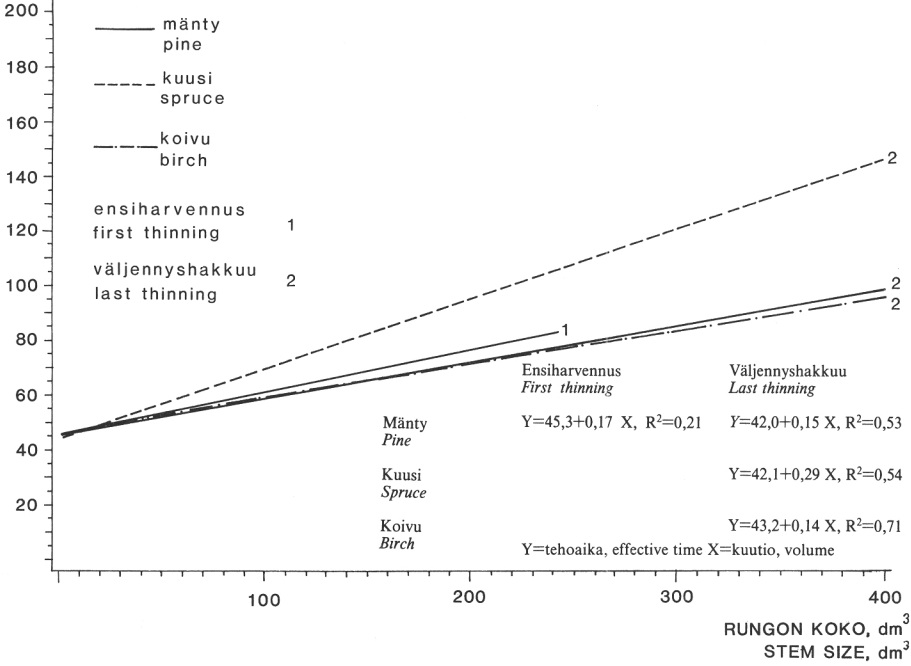
Taulukko 5. Nokka Joker -kaksioteharvesterin käyttöajan jakautuminen.

Table 5. Distribution of operating time with Nokka Joker two-grip harvester.

Työvaihe Work element	Ensiharvennus First thinning % käyttöajasta — %	Väljennysshakkuu Last thinning of operating time
Siirtyminen Moving	14,4	17,2
Valmistelu Preparation	0,7	1,1
Kouran vienti puulle ja tarttumisen Crane out to the tree	20,7	13,1
Asettelu ja katkaisu Positioning and felling	10,7	9,2
Vienti prosessorille Tree to the processor	16,3	12,8
Karsinta ja katkonta Delimiting and bucking	18,0	30,3
Hakkuutahtien järjestely Moving slash	6,3	2,6
Puutavaran järjestely Rearranging piles	0,7	2,1
Keskeytykset Delay	12,2	11,6
Yhteensä Total	100,0	100,0

TEHOAIKA, cmin / puu
EFFECTIVE TIME, cmin / tree

NOKKA JOKER



Kuva 4. Rungon koon vaikutus tehoajanmenekkiin Nokka Joker -kaksiotetarvesterilla.

Fig. 4. Effect of stem size on effective time consumption with Nokka Joker two-grip harvester.

15 minuutin keskeytysten syyt jakautuivat seuraavasti:

Keskeytyksen syy	Ensiharvennus % keskeytyksistä	3. harvennus %
Työn suunnittelu	25,6	79,3
Hydrauliikka	—	15,3
Kaatopää	22,8	—
Prossori-osa	40,0	—
Peruskone	1,4	5,4
Huolto	10,2	—
Yhteensä	100,0	100,0

33. Finntrac

Finntrac 400 GS -hakkuukonetta tutkittiin kahdella eri monitoimiosalla varustettuna. Tapio 250 -harvesterilla varustettua konetta tutkittiin kolmella leimikolla Hämeenlinnan ympäristössä ja Keto 51 -harvesterilla varustettua kahdella leimikolla Kouvolan lähistöllä. Molemmat hakkuukoneet olivat alle puoli vuotta vanhoja. Urakoitsijat olivat aiemmin työskennelleet metsurina, eikä heillä ennen tutkittujen koneiden hankkimista ollut ko-

kemusta hakkuukoneista. Kummankin kuljettajan ammattitaito oli kuitenkin hyvä. Kaikilla työmailla kuitupuu tehtiin 3-metriseksi.

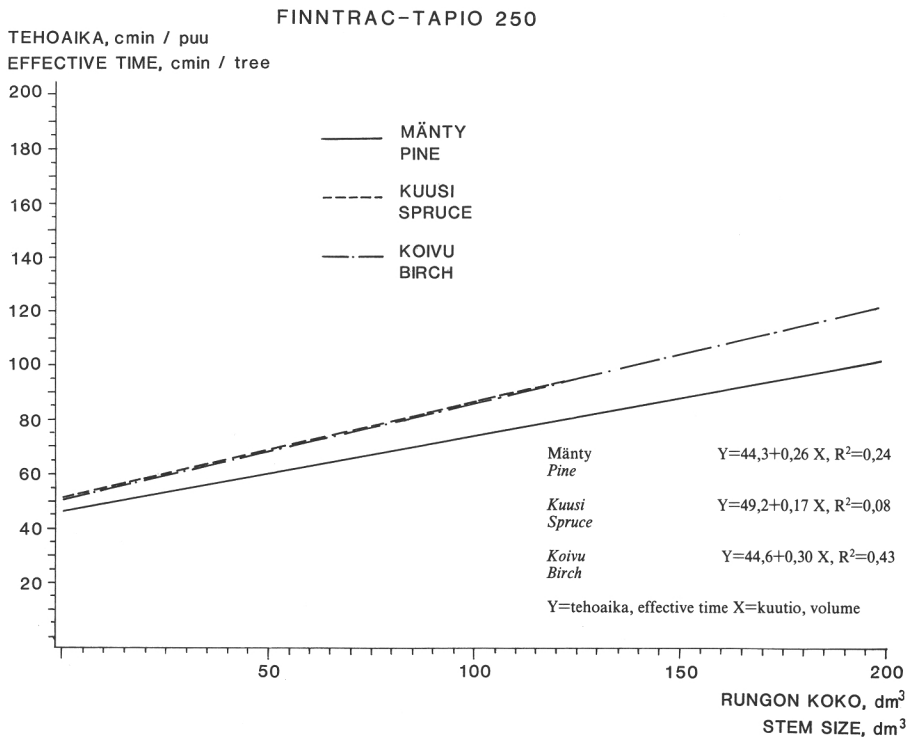
33.1. Finntrac varustettuna Tapio 250 -harvesterilla

Kaksi Finntracin tutkimustyömaata oli normaaleita harvennustyömaita. Kolmannella leimikolla selvitetiin raivauspuuston vaikutusta koneen työskentelyyn. Näkyvyys pienistä hakkuukoneista on usein huonompi kuin suurista koneista, ja harvennusleimikoissa voi olla runsaastikin työskentelyä haittaavaa aluspuustoa. Raivauspuuston vaikutusta selvitetiin jakamalla kolmas tutkimusleimikko kahtia. Toinen puoli raivattiin etukäteen miestyönä ja tämän jälkeen tehtiin molemmilla osilla aikatutkimus harvesterityöskentelystä. Myös miestyönä tehdyn raivauksen ajanmenekki selvitetiin.

Tutkimustyömaiden työolot ja tehotuntituotokset on esitetty taulukossa 6. Koon vaikutus runkokohtaiseen tehoajanmenekkiin on esitetty kuvassa 5. Käyttöaika jakautui

Taulukko 6. Finntrac-Tapio 250 -yksioteharvesterin tutkimusleimikoiden olosuhteet ja tuotokset.
 Table 6. Study stands and output with Finntrac-Tapio 250 one-grip harvester.

	Ensi- harvennus First thinning	Toinen harvennus Second thinning	Ensiharvennus — First thinning Raivaamaton Uncleaned	First thinning Raivattu Cleaned
Pinta-ala, ha <i>Area, ha</i>	0,36	1,01	0,54	0,54
Maastoluokka <i>Terrain class</i>	1	1	1	1
Runkoluku/ha <i>Number of stems/ha</i>				
ennen harvennusta <i>before thinning</i>	2100	1192	2024	1900
harvennuksen jälkeen <i>after thinning</i>	840	387	1400	1300
Puulajisuhteet, % kertymästä <i>Distribution of tree species, %</i>				
mänty — pine	87	4	48	48
kuusi — spruce	6	81	41	41
koivu — birch	7	15	11	11
Kertymä — Removal				
runkoa/ha <i>stems/ha</i>	1197	655	624	600
m ³ /ha	39,2	51,1	18,3	20,5
Rungon koko, dm ³ <i>Stem size, dm³</i>	32,8	79,0	29,4	34,1
Tehotuntituotos, m ³ <i>Output/effective hour, m³</i>	3,2	5,3	2,4	3,2



Kuva 5. Rungon koon vaikutus tehoajanmenekkiin Finntrac-Tapio 250 -yksioteharvesterilla.
 Fig. 5. Effect of stem size on effective time consumption with Finntrac-Tapio 250 one-grip harvester.

Taulukko 7. Finntrac-yksioteharvesterin käyttöajan jakautuminen.

Table 7. Distribution of operating time with Finntrac one-grip harvester.

	Finntrac-Keto 51 % käyttöajasta % of operating time	Finntrac-Tapio 250 % käyttöajasta % of operating time
Siirtyminen <i>Moving</i>	16,4	11,7
Valmistelu <i>Preparation</i>	0,1	—
Kouran vieni puulle ja tarttuminen <i>Crane out to the tree</i>	22,2	23,1
Asettelu ja katkaisu <i>Positioning and felling</i>	11,3	11,4
Karsinta ja katkonta <i>Delimiting and bucking</i>	34,2	43,1
Hakkuutähteiden järjestely <i>Moving slash</i>	3,1	—
Puutavaran järjestely <i>Rearranging piles</i>	0,2	—
Keskeytykset <i>Delay</i>	12,5	10,7
Yhteensä — Total	100,0	100,0

tutkimustyömailla taulukon 7 mukaisesti. Alle 15 minuutin keskeytysten syyt olivat seuraavat:

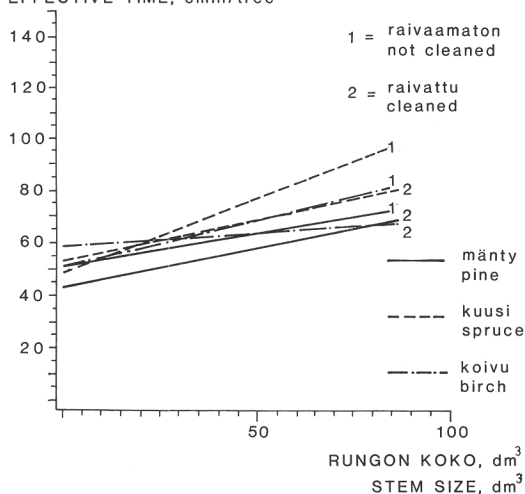
Keskeytyksen syy	1. harvennus % keskeytyksistä	2. harvennus % keskeytyksistä
Työn suunnittelu	37,1	6,0
Kaatosaha	62,9	67,0
Hydrauliikka	—	27,0
Yhteensä	100,0	100,0

Työolot ja tehotuntuotokset leimikolla, jolla selvitettiin raivauksen vaikutusta työskentelyyn, on esitetty taulukossa 6. Rungon koon vaikutus tehoajanmenekkiin on esitetty kuvassa 6.

Raivatulta 0,54 ha:n palstalta kaadettiin miestyönä yhteensä 1311 alle 5 cm:n läpimitaista, 2—6 m pitkää puuta. Näistä mäntyjä oli 993, kuusia 203 ja lehtipuita 115 kappaletta. Tehollinen raivausaika oli 2 h 1 min eli 3,74 h/ha. Raivauskustannus on noin 175 mk/ha. Laskentaperusteena on käytetty Metsä- ja uittoalan työehtosopimusta ja metsätyöpalkkojen taulukoita (1986). Tehollisesta raivausajasta on päästy ohjetuntipalkan perusteena olevaan työaikaan jakamalla tehollinen aika 0,8:lla. Sosiaaliturvamaksujen määräksi on laskettu 50 % palkkakustannuksista.

FINNTRAC-TAPIO 250

TEHOAIKA, cmin/puu
EFFECTIVE TIME, cmin/tree



	Raivattu — Cleaned	Raivaamaton — Uncleaned
Mänty <i>Pine</i>	$Y=46,2+0,19 X, R^2=0,38$	$Y=52,6+0,21 X, R^2=0,25$
Kuusi <i>Spruce</i>	$Y=54,3+0,25 X, R^2=0,30$	$Y=49,7+0,51 X, R^2=0,48$
Koivu <i>Birch</i>	$Y=58,6+0,10 X, R^2=0,02$	$Y=50,6+0,36 X, R^2=0,33$

Y=teho aika, effective time X=kuutio, volume

Kuva 6. Raivauksen vaikutus tehoajanmenekkiin.

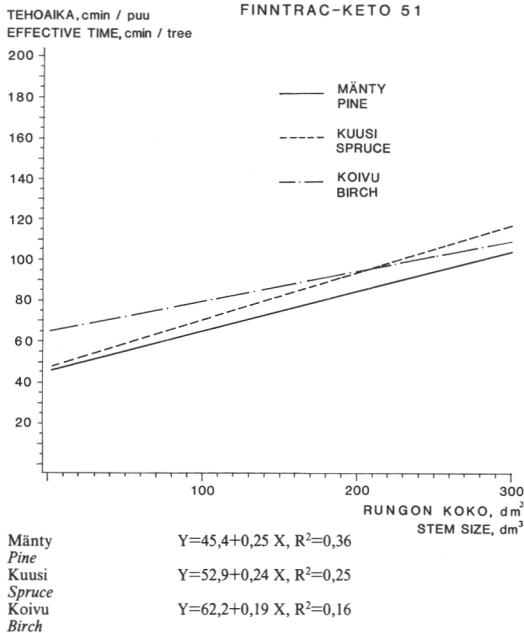
Fig. 6. Effect of manual cleaning on effective time consumption.

332. Finntrac varustettuna Keto 51 -harvesterilla

Keto 51 -harvesterilla varustettua Finntracia tutkittiin kahdella harvennusleimikolla syksyllä 1988 Raussilassa ja Ahviassa lähellä Elimäkeä. Tutkimusleimikoiden työolot ja tehotuntuotokset on esitetty taulukossa 8. Runkokohtaiset tehoajanmenekit on esitetty kuvassa 7.

Käyttöajan jakautuminen tutkimusleimikoilla on esitetty taulukossa 7. Alle 15 minuutin keskeytysten syyt jakautuivat seuraavasti:

Keskeytyksen syy	% keskeytyksistä
Työn suunnittelu	26,1
Hydrauliikka	43,0
Kaatopää	27,0
Peruskone	3,9
Yhteensä	100,0



Y=tehoaika, effective time X=kuutio, volume

Kuva 7. Rungon koon vaikutus tehoajanmenekkiin Finntrac-Keto 51 -yksioteharvesterilla.

Fig. 7. Effect of stem size on effective time consumption with Finntrac-Keto 51 one-grip harvester.

Taulukko 8. Finntrac-Keto 51 -yksioteharvesterin tutkimusleimikkoiden olosuhteet ja tuotokset.

Table 8. Study stands and output with Finntrac-Keto 51 one-grip harvester.

	Leimikko 1 Stand 1	Leimikko 2 Stand 2
Pinta-ala, ha Area, ha	1,04	1,04
Maastoluokka Terrain class	2	2
Runkoluku/ha Number of stems/ha		
ennen harvennusta before thinning	1600	1969
harvennuksen jälkeen after thinning	1139	1149
Puulajisuhteet, % kertymästä Distribution of tree species, %		
mänty — pine	60	74
kuusi — spruce	31	26
koivu — birch	9	—
Kertymä — Removal runkoa/ha stems/ha	461	820
m ³ /ha	32,9	56,3
Rungon koko, dm ³ Stem size, dm ³	71,3	68,6
Tehotuntutuotos, m ³ Output/effective hour, m ³	4,9	5,4

4. KORJUJÄLKI

41. Korjuuvaurioiden määrä ja laatu

Pienten hakkuukoneiden korjuujäljen selvittämiseksi inventoitiin yhdeksän leimikkoa kokonaispinta-alaltaan 11,5 ha. Osa näistä oli aikatutkimusleimikoita, osa tutkittujen ko. koneiden aiemmin hakkaamia leimikoita. Inventoiduista leimikoista kolme oli hakattu Telakarhulla, kaksi Nokka Jokerilla ja neljä Finntracilla. Sama kaksioteharvesteri huolehti myös metsäkuljetuksesta, jolloin korjuujälki-inventoinnissa ovat mukana myös metsäkuljetuksen aiheuttamat vauriot.

Inventoidut leimikot olivat pääosin mäntyvaltaisia. Korjuu oli tehty sulan maan aikana. Kaksioteharvestereiden aiheuttama vaurioprocentti oli keskimäärin 5,1 ja yksiotemonitoimikoneiden 5,0. Alhaisin vaurioprocentti tutkimusleimikoissa oli 3,0 ja kor-

kein 7,3. Vertailun vuoksi inventoitiin myös yksi miestyönä hakattu leimikko, jossa metsäkuljetus oli tehty Telakarhu-maasturilla. Tällä leimikolla vaurioprocentti oli 1,1.

Vaurioista 86,7 % oli rungoissa, 7,7 % juurenniskoissa ja 5,6 % juuristoissa. Laatusa puolesta vauriot jaettiin pintavaurioihin, syvävaurioihin ja katkovaurioihin. Pintavaurioissa kuori on irronnut, mutta itse puuaines on säilynyt vahingoittumattomana. Syvävaurioissa myös puuaines on vahingoittunut. Katkovaurioissa puu tai juuri on katkenut. Vauriot jakautuivat laadultaan seuraavasti:

Vaurion kohde	Pintavaurio % vaurioista	Syvävaurio	Katkovaurio
Runko ja juurenniska	84,7	14,2	1,1
Juuri	15,4	76,9	7,7

Taulukko 9. Vaurioitumisen aiheuttaja.
Table 9. Cause of damage.

Vaurioitumisen aiheuttaja Cause of damage	Vaurion kohde — Damage point		
	Juuri Root % jakauma — Distribution %	Juureniska Root collar % jakauma — Distribution %	Runko Stem % jakauma — Distribution %
Telasto Tracks	96,1	77,8	5,6
Runko Frame	—	—	2,5
Pankko Bunk	—	—	4,9
Nosturi tai monitoimiosa Crane or harvesting head	3,9	13,9	53,8
Puun kaato Felling tree	—	—	7,0
Käsiteltävä puu Tree under processing	—	5,5	24,4
Ei tiedossa Unknown	—	2,8	1,8
Yhteensä — Total	100,0	100,0	100,0

Runko- ja juureniskavaurioiden koko mitattiin cm²:nä, juurivaurioiden koko vaurioituneen juuren läpimittana vauriokohdassa. Vauriot olivat pääosin pieniä. Runkovaurioiden keskikoko oli 37,6 cm² juureniskavaurioiden 90,2 cm². Runko- ja juureniskavaurioista yli 90 % oli kooltaan alle 100 cm². Juuren keskimääräinen paksuus vauriokohdalla oli 6,0 cm.

Vaurioituneiden puiden sijainti mitattiin etäisyytenä ajouran keskilinjasta. Juuri- ja juureniskavauriot keskittyvät uran reuna-puihin, runkovaurioita sen sijaan oli syntynyt myös kauempana urasta. Rungosta vaurioituneet puut sijaitsivat keskimäärin 2,65 m:n, juureniskasta vaurioituneet 1,63 m:n ja juuresta vaurioituneet 1,28 m:n etäisyydellä uran keskilinjasta. Yli 70 % juuristoon tai juureniskan vaurioituneista puista oli alle 2 m:n etäisyydellä ajouran keskilinjasta. Runkovaurioituneita puita oli runsaammin myös kauempana urasta. Yli 30 % runkoon vaurioituneista puista sijaitsi yli 3 m:n etäisyydellä uran keskilinjasta.

Juurivauriot olivat lähes kaikki telaston aiheuttamia (taulukko 9). Runko- ja juureniskavauriot jakautuivat usean kone-elimen osalle. Eniten vaurioita olivat aiheuttaneet monitoimiosa, käsiteltävä puu sekä telasto. Yleisimmäksi syyksi juurivaurioihin arvioitiin uran kapeus. Myös maaston kaltevuus ja

Taulukko 10. Vaurioitumisen syy.
Table 10. Reason of damage.

Vaurioitumisen syy Reason for damage	Vaurion kohde — Damage point		
	Juuri Root % jakauma — Distribution %	Juureniska Root collar % jakauma — Distribution %	Runko Stem % jakauma — Distribution %
Kivi tai kanto Stone or stump	11,4	8,3	5,3
Kaltevuus Slope	15,4	13,9	2,5
Huono kantavuus Soft ground	15,4	—	—
Uran kapeus Too narrow strip road	30,8	19,4	5,6
Mutka tai liittymä Curve or intersection	15,4	25,0	7,6
Poikkeaminen uralta Moving outside strip road	7,7	11,1	3,4
Huolimattomuus Carelessness	—	2,8	20,0
Puun vaikea sijainti Difficult tree position	3,9	13,9	33,6
Ei tiedossa Unknown	—	5,6	22,0
Yhteensä — Total	100,0	100,0	100,0

huono kantavuus aiheuttivat juurivaurioita. Runko- ja juureniskavaurioihin olivat usein syynä uran kapeus, poikkeaminen uralta ja huolimattomuus (taulukko 10). Poistettavan puun vaikea sijainti pakottaa hakkuukoneen usein poikkeamaan uralta, ja tällöin vaurioriski on suuri.

42. Ajourien määrä ja laatu

Pienet kaksiotharvesterit tekevät usein sekä hakkuun että metsäkuljetuksen. Yksiotharvesterien jälkeinen metsäkuljetus tehdään yleensä pitkäulotteisilla kuormaimilla varustetuilla kuormatraktoreilla. Pienkoneet ovat todennäköisesti kilpailukykyisempiä hakkuussa kuin metsäkuljetuksessa, jossa suhteellisen pienellä kuorman koolla on vaikeaa saavuttaa hyvä taloudellinen tulos. Tämän vuoksi pienkoneiden kysyntä onkin viime aikoina keskittynyt hakkuukoneisiin.

Koska pienten hakkuukoneiden nosturin puomin ulottuvuus on enintään 7 m, joudutaan ajouria avaamaan paljon. Varsin yleisesti käytössä on menetelmä, jossa metsäkuljetusuravälit avataan noin 30 metrin välein, ja näiden väliin tehdään kaksi ”haamu-uraa”, jossa ainoastaan hakkuukone liikkuu ja pui

puut metsäkuljetusuria kohti. Teoriassa tullaan toimeen yhdelläkin "haamu-uralla" metsäkuljetusurien välissä, mutta ainakaan vaikeassa maastossa tämä ei käytännössä onnistu.

Vaurioinventoinnin yhteydessä mitattiin ajourien määrä ja laatu. Tutkimusleimikoissa oli ajouraa keskimäärin 781,4 m/ha. Uraleveys oli keskimäärin 3,70 m ja uraväli 13,2 m. Tällöin urien laskennallinen pinta-ala on 28,9 % leimikon pinta-alasta.

Ajourien laskennallinen pinta-ala on suuri verrattuna aiemmissa inventoinneissa todettuihin ajouramääriin. Lilleberg (1986) inventoi metsäkuljetuskoneiden korjuujälkeä miestyöhakkuun jäljiltä. Tällöin keskikokoisen metsätraktorin jäljiltä uraa oli keskimäärin 17,0 % leimikon pinta-alasta, pienellä metsätraktorilla 18,0 % ja telamaasturilla 12,2 %. Ajourien tosiasialliset seurausvaikutukset riippuvat kuitenkin siitä, miten paljon kasvatettaviksi tarkoitettavia puita joudutaan ajouran takia poistamaan ja siitä, miten paljon uran reunapuusto ja maaperä vaurioituvat. Pienellä hakkuukoneella taitava kuljettaja pystyy avaamaan "haamu-urat" hieman harvemmassa metsikössä melko vähäisin haitta-

vaikutuksiin. Kun nämäkin urat lasketaan mukaan, ajo-uramäärä nousee näennäisesti varsin korkeaksi. Haamu-urat eivät haitta-vaikutuksiltaan kuitenkaan ole verrattavissa metsäkuljetusuriin. On myös syytä muistaa, että ajouraleveys on varsin suhteellinen käsite. Harvassa puustossa laskennallinen ajouraleveys muodostuu suuremmaksi kuin tiheässä puustossa, koska harvemmassa leimikossa puiden etäisyys jo ennen harvennusta on suurempi.

Korjuujälkeä inventoitaessa mitattiin myös raiteiden äärietäisyys ja syvyys. Raiteiden äärietäisyys oli keskimäärin 1,99 m. Leimikoilla, joilla pienkone oli tehnyt pelkästään hakkuun, raiteiden keskisyvyys oli 1,9 cm. Kun myös metsäkuljetus oli ennen inventointia tehty samalla peruskoneella, raiteiden keskisyvyys oli 6,7 cm. Koska hakkuukone tekee eteensä hyvän havumaton ja kulkee ainoastaan kerran samaa uraa pitkin, maaperä vaurioituu varsin vähän. Sen sijaan telamaasturi metsäkuljetuskoneena joutuu pienen kuorman koon takia ajamaan samaakin uraa useita kertoja, jolloin maaperä- ja juurivaurioriski on suurempi.

5. VERTAILUTUTKIMUS YKSI- JA KAKSIOTEHARVESTERISTA TIHEÄPUUSTOISESSA ENSIHARVENNUKSESSA

51. Tutkimuksen taustaa

Yksittäisissä aikatutkimuksissa työolojen vaihtelu heikentää tulosten vertailtavuutta. Metsä on kuitenkin vaihteleva tutkimusympäristö, eikä vertailukelpoisten olosuhteiden löytäminen ole helppoa.

Myllykoski Oy istutti 1960-luvulla Myllykosken paperitehtaan ympäristössä omistamansa tasapohjaiset viljavat Kymijoen rantapellot kuuselle. Kaiken kaikkiaan istutettiin noin 80 hehtaaria. Istutusvaiheessa Metsäntutkimuslaitos tutki alueilla erilaisia istutusmenetelmiä (Appelroth & Harstela 1970). Alueilla kokeiltiin eri istutustiheyksiä. Huolellisen istutuksen ja sen jälkeisen hyvän hoidon ansiosta pellot kasvavat nyt tasaista ja hyväkasvuista kuusikkoa. Vanhimmat, noin 25 vuoden ikäiset metsiköt, ovat ensiharvennusvaiheessa.

Myllykoski Oy:n metsäosaston otettua yh-

teyttä Metsäntutkimuslaitokseen ja tarjotessa mahdollisuutta käyttää kuusikoita tutkimustarkoituksiin, todettiin niiden tarjoavan poikkeuksellisen homogeeniset olosuhteet korjuukoneiden tutkimukseen. Koska koneellisen korjuun soveltuvuus kyseisiin työoloihin kiinnosti Myllykoski Oy:tä, päädyttiin kokeilemaan kahta erilaista pientä hakkuukonetta, yksioteharvesteria ja kaksioteharvesteria.

Kun kuusikot tarjosivat yhdenmukaiset käyttöolot tutkittaville hakkuukoneille, ja systemaattinen leimaus oli mahdollista rivistutuksen vuoksi, päätettiin normaalin aikatutkimuksen lisäksi tehdä tarkempi työskentelyanalyysi ja samalla seurata jäävän puuston vaurioitumista. Samalla haluttiin tietoa poistuman ja käytettävissä olevan tilan vaikutuksesta harventamalla leimikkoa kahdella eri tavalla. Tutkimukseen valittiin jo yksittäisissä aikatutkimuksissa mukana olleet ja taitaviksi osoittautuneet kuljettajat.



Kuva 8. Finntrac-yksioteharvesteri tutkimusleimikolla.
Fig. 8. Finntrac one-grip harvester on study stand.



Kuva 9. Nokka Joker -kaksioteharvesteri tutkimusleimikolla.
Fig. 9. Nokka Joker two-grip harvester on study stand.

Taulukko 11. Tietoja tutkimusleimikosta Myllykoskella.
Table 11. Study stand at Myllykoski.

	Palsta 1 — Stand 1		Palsta 2 — Stand 2	
	Kaksiote- harvesteri Two-grip harvester	Yksiote- harvesteri One-grip harvester	Kaksiote- harvesteri Two-grip harvester	Yksiote- harvesteri One-grip harvester
Pinta-ala, ha <i>Area, ha</i>	0,38	0,44	0,23	0,29
Runkoluku/ha <i>Number of stems/ha</i>	2135	1958	2117	2056
Poistuma <i>Removal</i>				
runkoa/ha <i>stems/ha</i>	1082	917	965	859
m ³ /ha	60,5	58,7	59,1	53,7
Jäävä puusto <i>Stand after thinning</i>				
runkoa/ha <i>stems/ha</i>	1053	1041	1152	1197
m ³ /ha	69,5	68,7	89,9	79,0
Poistettujen run- kojen koko, dm ³ <i>Size of removed stems, dm³</i>	55,9	64,0	61,3	62,5
Uraväli, m <i>Strip road distance, m</i>	12,5	14,8	14,9	14,9
Uraleveys, m <i>Strip road width, m</i>	4,05	3,80	2,80	2,80
Ura, m/ha <i>Length of strip roads, m/ha</i>	834	681	675	675

52. Tutkimusolot ja -menetelmä

Tutkitut hakkuukoneet olivat Finntrac 4000 GS varustettuna Keto 51 -harvesterilla ja Nokka Joker varustettuna Hakki 400 -processorilla ja Nokka-kaatopäällä. Valintaan vaikutti se, että ne mitoiltaan ovat varsin lähellä toisiaan, kuljettajat tiedettiin ammattitaitoisiksi, ja koneet oli mahdollista saada mukaan kokeeseen kiireisestä korjuuajasta huolimatta. Tarkoitus ei ollut vertailla konemerkkejä vaan kahta erilaista hakkuukoneratkaisua ja niiden työskentelyä. Kuvissa 8 ja 9 Finntrac ja Nokka Joker työskentelevät tutkimusleimikolla.

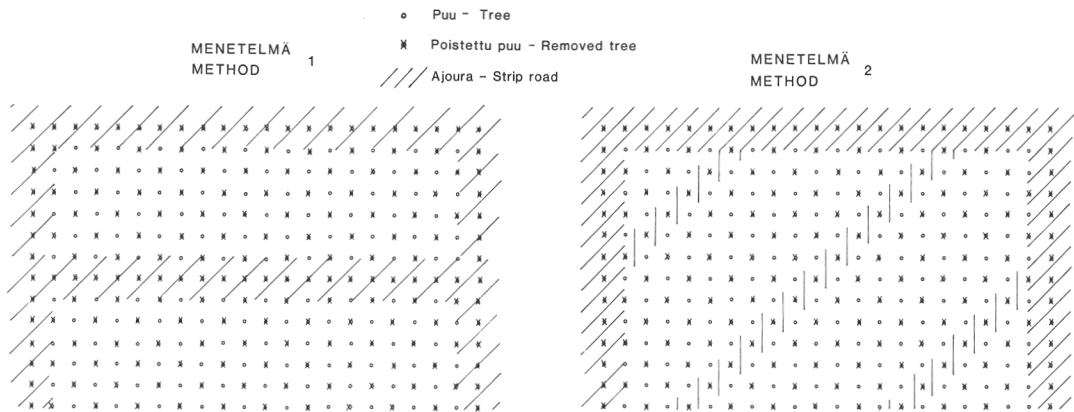
Tutkimusalueiksi valittiin kaksi vajaan hehtaarin suuruista palstaa, jotka leimattiin eri tavon. Palstat jaettiin kahtia, ja molemmat harvesterit hakkasivat noin puolet palstasta. Leimaus tehtiin systemaattisesti. Lisäksi leimattiin metsänhoidollisista syistä poistettavia puita, joita oli kuitenkin varsin vähän. Kuvassa 10 on esitetty käytetty leimaus.

Tutkimusleimikoiden yleis- ja puustotiedot on esitetty taulukossa 11. Oleellisin ero käy-

tetyillä harvennustavoilla oli koneiden käytävissä oleva tila. Palstalla, jossa urat avattiin istutusrivien suunnassa, ajouran leveys oli noin 4,0 metriä. Kun urat avattiin viistoitain, uraleveys oli ainoastaan 2,8 metriä. Poistuma oli hieman suurempi avattaessa urat rivien suunnassa, eli olosuhteet olivat tällöin koneelliselle korjuulle edullisemmat.

Tutkimus tehtiin helmikuun alussa. Lauhan talven ja tiheän puuston vuoksi lunta oli leimikolla varsin vähän. Kumpaakin hakkuukonetta koskevaa tutkimusta tehtiin kolmen päivän aikana. Lämpötila oli pääosin hieman 0°C asteen yläpuolella, mutta molempien koneiden työskentelyaikana oli yhtenä päivänä heikkoa pakkasta. Pakkanen paransi erityisesti Nokka Jokerin karsintajälkeä, koska sillä oli vaikeuksia karsinnassa.

Normaalin aikatutkimuksen lisäksi koneiden työskentelystä tehtiin analyysi, jossa selvitettiin liikkeen leimikossa, poistettavien puiden sijainti, puun ottokulma, käsittelypaikka, hakkuutähteiden ja kasojen järjestely ja kasojen laatu. Työskentelyanalyysillä pyrittiin saamaan kuva hakkuukoneen liikkeis-



Kuva 10. Myllykoskella käytetyt harvennusmenetelmät.
Fig.10. Thinning methods at Myllykoski.

tä leimikossa ja selvittämään syitä mahdollisiin eroihin koneiden työskentelytuloksessa. Puukohtaiset aikautkimus- ja työskentelyanalyysitiedot yhdistämällä on mahdollista selvittää esimerkiksi puun sijainnin, otokulman ja käsittelypaikan vaikutusta ajamenekkiin.

Edellisten mittausten lisäksi yksi tutkija seurasi kaiken aikaa jääviin puihin syntyviä kosketuksia. Kosketuksen tapahduttua kirjattiin kosketuksen aiheuttanut elin sekä kosketuksen syy ja voimakkuus. Kolhaisun saanut puu merkittiin numerolapulla ja tutkittiin jälkepäin mahdollisesti syntyneen vaurion laatu, koko ja sijainti. Näin pyrittiin saamaan tietoa siitä, miten eri tyyppiset kolhaisut johtavat vaurioitumiseen.

53. Tutkimustulokset

531. Ajankäyttö ja tuottavuus

Hakkuukoneet pystyivät työskentelemään suuremmitta vaikeuksista tiheässä leimikossa. Hankaluuksia aiheutti kuitenkin kuusikon oksikkuus. Leimikon laidoilla elävä oksisto alkoi lähes maanpinnasta, jolloin kaatopään tai harvesteriosan vienti tyvelle ja tyviosan karsinta oli erityisen hankalaa. Sisemmällä leimikossa alaoksat olivat osin kuivuneet, mikä helpotti työskentelyä. Kuljettajille oli annettu ohjeet tehdä 3-metristä kuitupuuta ja 2-metristä apumittaa. Nokka Jokerilla oli karsinnassa vaikeuksia, ja se joutui ajamaan puuta edestakaisin prosesso-

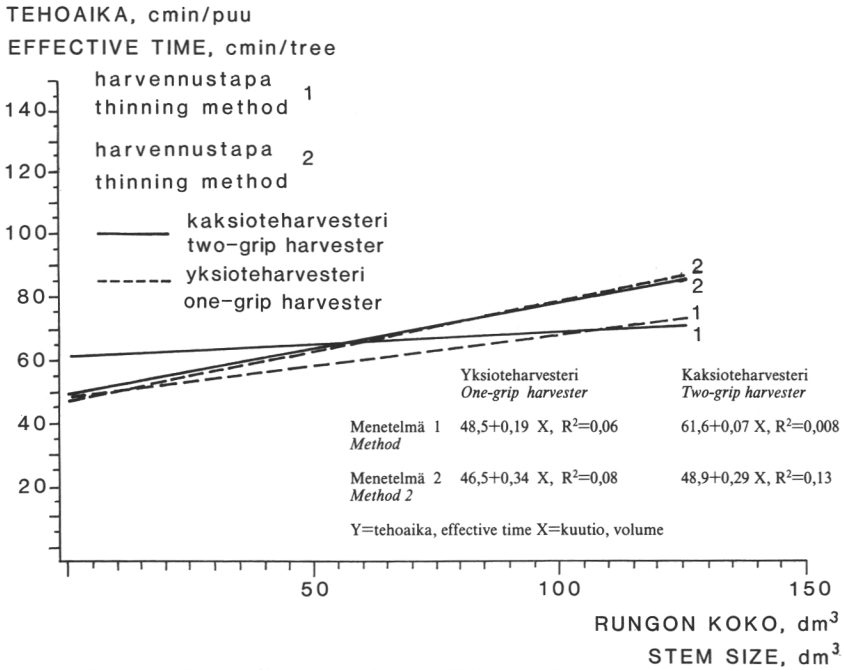
rin läpi. Seurauksena oli mittatarkkuuden heikkeneminen. Oksien runsaus ja erityisesti tyvioksien karsinta lisäsivät myös kummankin koneen työajanmenekkiä. Tanskassa, jossa elävä oksisto alkaa usein aivan rungon tyvestä, on eräissä yksiotteharvesterissa ongelma pyritty ratkaisemaan varustamalla harvesteriosa kaksilla karsintaveitsillä, joista toiset sijaitsevat harvesteriosan alapäässä.

Kumpikin kone työskenteli ensin palstalla 1, jossa koneen työskentelytila ja poistuma olivat suuremmat. Näin tehtiin sen vuoksi, että olosuhteet poikkesivat normaaleista leimikko-oloista puuston tiheyden vuoksi. Koska kireän tutkimusaikataulun vuoksi harjoitteluun ei jäänyt paljon aikaa, työskentely aloitettiin helpommasta päästä. Tämä saattoi vaikuttaa tuloksiin siten, että kuljettajat olivat jo alkaneet tottua työskentelyyn, kun tutkimus jatkui palstalla 2.

Koneiden teho- ja käyttötuntituotokset eri palstoilla olivat seuraavat:

	Kaksiotteharvesteri		Yksiotteharvesteri	
	Palsta			
	1	2	1	2
Rungon koko, dm ³	55,9	61,3	64,0	62,5
Tehotuntituotos, m ³ /h	4,02	4,20	5,26	4,39
Käyttötuntituotos, m ³ /h	3,72	4,18	4,71	3,94

Tehotyöaika jakautui taulukon 12 mukaisesti. Tuotoksissa ero palstoilla 1 ja 2 on yksiotteharvesterilla varsin selvä. Sen sijaan kaksiotteharvesterilla tuotos palstalla 2 on suurempi kuin palstalla 1, vaikka poistuma ja käytettävissä oleva tila olivat pienemmät. Syy parempaan tuotokseen palstalla 2 kaksi-



Kuva 11. Rungon koon vaikutus tehoajanmenekkiin Myllykoskella.
Fig.11. Effect of stem size on effective time consumption at Myllykoski.

otharvesterilla oli sään muutos, osin myös 8 dm³ suurempi rungon keskikoko. Koneella oli suuria vaikeuksia karsinnassa lämpötilan ollessa 0°C:n yläpuolella, jolloin se joutui ajuttamaan lähes jokaista runkoa edestakaisin. Palstalla 2 työskenneltäessä lämpötila oli pakkasen puolella, ja karsintajälki oli parempi, vaikkakaan ei tällöinkään hyvä. Yksiotharvesterilla karsinta sujui hyvin. Ero pakkasella työskenneltäessä oli lähinnä siinä, ettei kone rikkonut nyt puun pintaa juuri lainkaan, kun suojasäällä esiintyi jonkin verran vuolemista, ja taittuneita oksia jäi pölkkyihin.

Rungon koon vaikutus runkokohtaiseen tehoajanmenekkiin on esitetty kuvassa 11. Keskimääräiset runkokohtaiset tehoajat (kouran vienti puulle, asettelu ja katkaisu, vienti prosessorille, karsinta ja katkonta) olivat palstoittain seuraavat:

	Runkokohtainen teho aika, cmin	
	Palsta 1	Palsta 2
Kaksiotharvesteri	65,5	66,6
Yksiotharvesteri	60,5	67,5

Työajan jakautumisessa ei ollut suuria eroja palstoittain. Oleellisin ero oli hakkuutähteiden järjestelyn määrässä. Kun palstalla 2

Taulukko 12. Tutkimuskoneitten tehoajan jakautuminen.
Table 12. Distribution of effective time with study machines.

Työvaihe Work element	Kaksiotharvesteri Two-grip harvester		Yksiotharvesteri One-grip harvester	
	Menetelmä 1 Method 1		Menetelmä 2 Method 2	
	% tehoajasta — % of effective time		% of effective time	
Siirtyminen Moving	10,2	10,0	13,1	13,6
Valmistelu Preparation	1,4	2,2	1,0	1,1
Hakkuutähteiden järjestely Moving slash	8,3	11,2	3,0	5,6
Kouran vienti puulle Crane out to the tree	19,6	20,4	27,5	26,8
Asettelu ja katkaisu Positioning and felling	12,4	9,6	14,8	10,8
Vienti prosessorille Tree to the processor	21,2	21,1	—	—
Karsinta ja katkonta Delimiting and bucking	25,6	25,0	40,6	42,1
Kasojen järjestely Pile rearranging	1,3	0,5	—	—
Yhteensä — Total	100,0	100,0	100,0	100,0

oli vähän työskentelytilaa, puut jouduttiin puimaan ahtaissa väleissä. Tällöin hakkuutähteet kertyivät kasoiksi, joiden järjestelyyn kului aikaa.

Alle 15 minuutin keskeytysten %-osuus kokonaistyöajasta oli palstoittain seuraava:

Kaksiotetarvesteri Palsta		Yksiotetarvesteri Palsta	
1	2	1	2
7,5	0,6	10,4	10,1

Kaksiotetarvesterilla yleisimpänä syynä keskeytyksiin olivat hydraulikkajärjestelmän häiriöt. Yksiotetarvesterilla yleisimmät syyt olivat hydraulikka ja kaatosaha. Erityisesti Keto 51:n letkutus aiheutti ongelmia. Puomin ollessa koko pituudeltaan ulkona ja harvesteriosan tiettyssä kulmassa, saattoi karsittua runkoa katkaistaessa saha ylettyä letkuihin asti. Kuljettaja varoi tätä, eikä käsitellyt runkoja puomin ollessa ulkona, vaan siirsi rungot useimmiten uran yli ennen karsintaa ja katkontaa. Tämä lisäsi uran suojaksi tulevan oksiston määrää, mutta alensi jonkin verran työn tuottavuutta. Yksiotetarvesterin etuahan on vapaus käsitelypaikan valinnassa. Tämä ongelma on ratkaistavissa Keto 51:n letkutusta parantamalla tai käyttämällä lyhyempää terälaippaa.

532. Liikemäärät

Työskentelyanalyysillä tutkittiin normaalia aikatutkimusta tarkemmin hakkuukoneiden työskentelyä ja kerättiin tietoa koneiden liikkeistä sekä puiden sijainnin ja käsitelypaikan vaikutuksesta työskentelyyn. Liikkeet (koneen siirtymiset, kuormaimen liikkeet puita ja hakkuutähteitä käsiteltäessä) käsitel-

tyä puuta, työpistettä ja valmistettua kuutiometriä kohti olivat seuraavat:

Liikematka, m	Kaksiotetarvesteri		Yksiotetarvesteri	
	1	2	1	2
Metriä/puu	9,7	11,3	9,2	10,8
Metriä/työpiste	19,4	25,4	19,9	17,5
Metriä/m ³	175,0	184,0	144,3	174,9

Kaksiotetarvesteri tekee liikkeitä yksiotetarvesteria enemmän. Monitoimiosan sijaitessa peruskoneen päällä ei käsitelypaikkaa voi valita vapaasti, vaan puu on aina tuotava koneen päälle. Sen sijaan yksiotetarvesteri voi vapaammin valita käsitelypaikan. Ero liikemäärissä olisi ollut huomattavasti suurempikin, jos jo aiemmin kerrottua letkujen sahaamisen pelkoa ei olisi ollut yksiotetarvesterilla. Kun kuljettaja siirsi rungon useimmiten ajouran yli, liikemäärä lisääntyi. Toisaalta tämän vuoksi kasojen koko kasvoi ja samalla saatiin enemmän hakkuutähteitä ajouran suojaksi. Eräs ongelma kaksiotetarvesterilla työskentelyssä erityisesti palstalla 2 oli se, että kun tilaa oli vähän, kone joutui tekemään paljon pieniä siirtoja etsiessään tilaa käsitellylle. Hakkuutähteitä, jotka kertyvät kaksiotetarvesterilla useita puita samalla paikalla käsiteltäessä ajouralle ja prosessoriosan päälle, on usein järjesteltävä.

Työskentelyanalyysissä jaettiin puiden ottokulma kolmeen luokkaan. Lisäksi merkittiin puun ottoetäisyys. Kun nämä tiedot yhdistettiin aikatutkimustietoihin, saatiin puun ottokulman ja sijainnin vaikutusta puukohittaiseen tehoaikaan kuvaava taulukko 13.

Taulukko 13. Puun sijainnin vaikutus tehoajanmenekkiin.
Table 13. Influence of tree position on effective time consumption.

Puun sijainti Tree position	Puun etäisyys koneesta, m Distance of tree from machine, m	Kaksiotetarvesteri Two-grip harvester		Yksiotetarvesteri One-grip harvester	
		1	Menetelmä — Method 2	1	2
		Teho aika/puu, cmin Effective time/tree, cmin			
Uralla On the strip road	Alle 2	64,1	72,8	56,9	70,3
	Under				
	Alle 2	61,4	53,2	52,1	64,0
	Under				
Viistosti sivulla 45° angle to the strip road	2-5	62,8	61,8	57,1	57,4
	Yli 5	64,1	63,4	58,8	66,9
	Over				
	Alle 2	53,0	80,8	50,3	—
Suoraan sivulla At right angles to the strip road	Under				
	2—5	73,7	55,9	61,6	54,7
	Yli 5	71,6	72,1	74,4	78,0
	Over				
Kaikki — Total		65,5	66,6	60,5	67,5

Urapuiden käsittely sujui palstalla 1 molemmilla koneilla selvästi palstaa 2 nopeammin. Tämä lienee johtunut suuremmasta käsittelytilasta. Ottoetäisyys ei näytä kovinkaan paljon vaikuttavan rungon käsittelyajan menekkiin etenkin kaksiotharvesterilla työskennellessä. Suhteellisen kevyt kaatopää on nopea viedä puun tyvelle, eikä puun siirtely vie paljon aikaa, vaan suuri osa ajasta kuluu rungon asetteluun prosessorille. Yksiotharvesterin työtulos olisi ollut jonkin verran erilainen, jos kuljettaja olisi käsitellyt enemmän puita puun ottopuolella uraa eikä vienyt puuta yhtä usein uran yli. Puiden vienti uran yli lisäsi ajanmenekkiä kauempina sijaitsevien puiden käsittelyssä. Harvesteriosan asettelu puun tyvelle ei myöskään ole niin nopeaa kuin kevyemmän ja pienempikokoisen kaatopään.

533. Runkovauriot

Yksi tutkija seurasi hakkuukoneen ja käsiteltävien puiden liikkeitä ja jääviin puihin mahdollisesti syntyviä kosketuksia. Koska leimikko oli tiheä, pelättiin erityisesti palstalla 2 syntyvän korjuuvaurioita. Kuljettajia oli kehotettu noudattamaan erityistä varovaisuutta, mutta näinhän tulee olla normaalissakin työskentelyssä.

Kosketuksista rekisteröitiin ainoastaan kolhaisut jäävien puiden runkoihin. Jos puu oli leimattu, kosketusta ei rekisteröity. Kuusikon runsas oksisto suojaasi runkoja hyvin, ja kun tutkimuksen aikana vallitsi lauha sää, ei myöskään oksia tai latvuksia katkennut merkittävästi. Kovalla pakkasella saattaa vaarana olla latvusten katkeaminen.

Vaikka maa oli paikoitellen lumeton, se oli kuitenkin roudassa, ja hakkuutähteet muodostivat vahvan maton ajouralle. Juurivaurioriski oli niin ollen sekä hakkuussa että myös myöhemmässä metsäkuljetuksessa pieni. Jääviin puihin syntyneet kosketukset ja niistä syntyneiden vaurioiden määrä on esitetty taulukossa 14.

Vauriot olivat pääosin pienikokoisia pintavaurioita, joissa itse puuaines ei vahingoitunut. Molempien hakkuukoneiden aiheuttamista vaurioista noin 80 % oli pinnallisia. Vaurioiden keskikoko oli 15 cm². Vaurioituneiden puiden etäisyys uran keskilinjasta oli kaksiotharvesterilla 3,1 m palstalla 1 ja 1,6 m palstalla 2. Yksiotharvesterilla vaurioiden keskietäisyys urasta oli 2,4 m. Vau-

Taulukko 14. Kosketusten ja vaurioiden määrä.
Table 14. Number of contacts and damage.

	Kaksiotharvesteri Two-grip harvester		Yksiotharvesteri One-grip harvester	
	1	2	Method	2
Kosketuksia, kpl <i>Number of contacts</i>	36	29	1	8
Vaurioita, kpl <i>Number of damage</i>	17	9	—	5
Vauriopuita, % <i>Damaged trees, %</i>	4,2	3,4	—	1,4

riot sijaitsivat keskimäärin 160 cm:n korkeudella juurenniskasta. Yleisimmät vaurion aiheuttajat olivat käsiteltävä puu ja kuormain.

Kosketusten ja vaurioiden määrä oli erityisesti yksiotharvesterin työssä erittäin pieni. Tähän vaikutti kuljettajan ammattitaito sekä huolellisuus. Vaikka käytännön työmailla vauriotasoa on varmaankin hieman korkeampi, jäävän puuston vaurioituminen ei näytä muodostavan estettä pienten hakkuukoneiden käytölle kyseisissä työoloissa.

534. Puutavaran ja kasojen laatu

Valmiin puutavaran laatua selvitettiin mitaamalla osa pölkyistä. Hakkuukoneiden työnjälki poikkesi puutavaran laadun osalta huomattavasti. Kaksiotharvesterilla tehtyjen 3-metrisiksi tarkoitettujen pölkyjen keskipituus oli 2,76 m. Yksiotharvesterilla vastaava pituus oli 2,99 m. Kaksiotharvesterin huono mittatarkkuus selittyy prosessorin karsintavaikeuksilla. Kun lähes jokaista runkoa jouduttiin ajamaan edestakaisin, tarkka mitta ei ollut mahdollinen. Yksiotharvesterin tulos kertoo sekä mittalaitteen tarkkuudesta että kuljettajan huolellisuudesta.

Kaksiotharvesterin karsintajälki oli suoja-äällä huono, pienellä pakkasella välttävä. Koska puita jouduttiin hakkauttamaan, puuainesta rikkoutui usein. Huono karsintajälki oli yllätys, sillä kaksiotharvesterien karsintajälki ja myös kaksiotharvesterissa olleen Hakki 400 -prosessorin karsintajälki aiemmilla aikatutkimustyömailla on yleensä ollut hyvä. Hakki-prosessoria kokeiltiin ensin ketjuin varustetuilla kumirullilla, mutta tällöin syöttö oli huonompi kuin teräsrullilla, joita tutkimuksessa käytettiin.

Yksiotharvesterissa olleen Keto 51 -harvesterin karsintajälki oli suoja-äällä kohtalainen, pienellä pakkasella hyvä. Pakkasella

puutavaran pinta jäi ehjäksi, suojasäällä pientä volemista tapahtui. Keto 51:n telasyöttö toimi vaikeaoksisillakin puilla hyvin, ainoastaan mutkaisilla puilla puuta jouduttiin ajamaan edestakaisin.

Kasat luokiteltiin hyviin ja huonoihin. Kaksioteharvesterilla tehdyt kasat olivat yksioteharvesterin kasoja huonommat. Kasojen laatu oli palstoittain seuraava:

	Kasojen laatu, % kasoista			
	Palsta 1		Palsta 2	
	Hyvä	Huono	Hyvä	Huono
Kaksioteharvesteri	64,9	35,1	58,8	41,2
Yksioteharvesteri	99,8	0,2	97,6	2,4

6. TULOSTEN TARKASTELU

Työn tuottavuus ja kustannukset

Työolojen ja kuljettajien vuoksi yksittäiset aikatutkimukset eivät pysty antamaan kattavaa tietoa hakkuukoneiden soveltuvuudesta eri kohteisiin. Koska tutkimusaineistoa on kuitenkin kerätty monista olosuhteista, voidaan pienten hakkuukoneiden käyttöalueista tehdä johtopäätöksiä.

Tuottavuuden taso vaihteli voimakkaasti leimikkotekijöiden muuttuessa. Korkein tuotos tehotunnissa oli yli 14 m³ väljennyshakkuussa, ja alhaisin 2,5 m³ tehotunnissa pienirunkoisessa ensiharvennusleimikossa, jossa kasvoi runsaasti työskentelyä haittaavaa markkinakelvotonta puustoa. Tutkimuksen alkaessa markkinoilla oli ainoastaan kaksioteperiaatteella toimivia pieniä hakkuukoneita, eikä vielä ollut varmaa kuvaa siitä, onko prosessori vai harvesteri parempi ratkaisu. Tutkimustulosten valossa näyttää siltä, ettei prosessorin käytölle löydy perusteita. Samalla harvennusleimikolla hakkuukoneen tehotuntuotos prosessorina oli vain 0,2 m³ suurempi kuin harvesterina. Harvesterin käyttöä puoltaa myös työn helpompi organisointi. Ainut prosessorin käyttöä puoltava tekijä ehkä hieman harvesteria korkeamman käytöasteen lisäksi on vähäisempi ajourien tarve, kun puut kaadetaan miestyönä. Kun kuitenkin pienen hakkuukoneen tilantarve ”haamu-urilla” on vähäinen, ei prosessorin käyttö ole perusteltua.

Työolojen muutoksilla on selvä vaikutus pienten hakkuukoneiden työskentelyyn. Nii-

Ero johtuu hakkuukoneiden työtekniikasta. Kaksioteharvesterilla pölkyt tippuvat ja kun maa on lähes lumeton, kasat leviävät. Yksioteharvesterilla on mahdollisuus tehdä siistit kasat. Keskimääräinen kasan koko palstalla 1 oli kaksioteharvesterilla 0,19 m³ ja yksioteharvesterilla 0,16 m³. Palstalla 2 kaksioteharvesterilla 0,16 m³ ja yksioteharvesterilla 0,12 m³.

den nosturin puomin ulottuvuus on suhteellisen pieni, joten ne joutuvat liikkumaan paljon. Tela-alustaisille hakkuukoneille kivinen maasto aiheuttaa vaikeuksia. Tämän vuoksi maasto ja leimikon tiheys vaikuttavat niiden työn tuottavuuteen isoja hakkuukoneita enemmän. Jos lunta on paljon, pienten telakoneiden työskentely vaikeutuu isoja koneita enemmän. Tutkimusaineistot kerättiin pääosin kesän aikana.

Markkinakelvoton pienpuusto vaikeutti tuntuvasti hakkuukoneen työskentelyä. Puiden raivaus vei aikaa, vaikka tutkimustyömaalla poistettiin vain työskentelyä haittaavat puut. Tehotuntuotos oli raivatulla osalla 3,16 m³ ja raivaamattomalla osalla 2,49 m³. Konetyön tehoajanmenekki oli raivaamattomalla osalla 7,35 h/ha ja raivatulla 6,45 h/ha. Kun hakkuukoneen tuntikustannukseksi lasketaan 250 mk/h, on hehtaaria kohden laskettu konekustannus raivaamattomalla osalla 225 mk suurempi kuin miestyönä raivatulla alueella. Kun miestyöraivauksen kustannus on 175 mk/ha, erotukseksi jää 50 mk/ha. Tämä summa menee helposti organisatorisiin kustannuksiin. Metsän paremmalle kunnolle miestyöraivauksen jälkeen on myös annettava arvonsa. Jos laajoilla alueilla on erittäin runsaasti raivauspuustoa, kannattaa miestyöraivausta harkita ennen koneellista hakkuuta.

Pienten hakkuukoneiden tuntikustannukset ovat noin 250—270 mk hakkuukoneen hankintahinnasta riippuen. Ainoastaan osalla tutkimusleimikoista koneyrityttäjä pääsi hy-

vään taloudelliseen tulokseen. Vaikka käyttäjän jakautumista kuvaavissa taulukoissa keskeytysten osuus on kohtuullisella tasolla, niissä ovat mukana ainoastaan alle 15 minuutin keskeytykset. Koska tutkitut koneratkaisut olivat kuitenkin lähes uusia, niissä oli ns. lastentauteja, joista aiheutui pitkiäkin keskeytyksiä. On todennäköistä, että pienten hakkuukoneiden tekninen käyttöaste nousee lähemmäksi isojen koneiden tasoa. Valittaessa leimikoita pienille hakkuukoneille on muistettava, ettei niitä ole suunniteltu avohakkuihin. Ylisuurten runkojen käsittely kostautuu korjauslaskujen muodossa.

Myös aiemmissa tutkimuksissa pienten hakkuukoneiden tuotos on riippunut voimakkaasti leimikko-oloista. Makeri-harvesterilla Puolassa tehdyissä kokeissa käyttötuntituotos oli 1,9—4,2 m³ rungon koon vaihdellessa 29—90 dm³ (Hakkila & Wojcik 1980).

Ruotsissa kiinnostus pienkoneisiin on ollut suurempaa kuin Suomessa. Osittain tämä johtuu miestyöhakkuun Suomea korkeammista kustannuksista. Hellström (1987) vertaili ajouralta toimivien ja palstalla toimivien pienten hakkuukoneiden edullisuutta ensiharvennuksissa. Tutkitut koneet olivat Bruun Two -harvesteri ja Grangärde-harvesterin prototyypit. Ajouralta toimivia isompia harvestereita edusti mm. Valmet 901. Tutkimusleimikossa, jossa rungon keskikoko oli 44 dm³, Valmet 901:n tehotuntituotos oli 20 m:n uraväliä käytettäessä 115 puuta. Bruun Two-harvesteri käsitteli 110 puuta ja Grangärde-harvesteri, jonka leveys on 155 cm, 70 puuta tehotunnissa. Hellström (1987) toteaa, että pienen harvesterin tuottavuuden tulisi olla vähintään 70 % ison harvesterin tuottavuudesta taloudellisesti kannattavan tuloksen saavuttamiseksi.

Schermanin (1988) mukaan pienten hakkuukoneiden tuntikustannus on noin 70—80 % normaalin yksiotteharvesterin tuntikustannuksesta. Jos tuntikustannus on 80 % suuremman hakkuukoneen kustannuksesta, pieni hakkuukone on kilpailukykyinen helppossa maastossa 70 dm³:n mutta vaikeassa maastossa ainoastaan 40 dm³:n rungon kokoon asti. Metsänhoidollinen harvennustulos pienillä koneilla on vertailukelpoinen suurempien koneiden kanssa. Scherman (1988) katsoo, etteivät pienet hakkuukoneet ergonomialtaan vastaa suurempia koneita. Pienten koneiden etuna taas on metsänomistajien positiivinen asenne kevyempää teknologiaa kohtaan.

Kaikki nyt tutkitut hakkuukoneet ovat tela-alustaisia, joten niiden etuna on hyvä maastokelpoisuus huonosti kantavilla mailla. Kivikossa telasto altistuu kovalle rasitukselle, ja vaikei rasitus hakkuukoneissa ole yhtä suuri kuin kuormatraktoreissa, esiintyi tutkituilla hakkuukoneilla telojen korjaustarvetta. Nokka Joker poikkeaa tässä muista tutkimuskoneista. Sehän on pieni terästelainen pyöräkone.

Ruotsalaiset metsäkoneiden valmistajat ovat useimmiten päätyneet pienkoneissakin pyöräkoneisiin. FMG 0470 Lillebror on pieni yksiotteharvesteri, joka on tullut myös Suomen markkinoille vuonna 1989. Koneesta on olemassa myös kaato-kasauskone- ja raivauskoneversiot. Brunberg & Nilsson (1988) tutkivat FMG 0470 -yksiotteharvesterin työn tuottavuutta, korjuuvaurioita ja lumessakulukykyä. Tuottavuus riippui voimakkaasti leimikko- ja maasto-oloista, sillä nosturin puomin ulottuvuus on vain 5 m, joten kone joutuu liikkumaan leimikolla paljon. Ajonopeus putosi maaston vaikeutuessa voimakkaasti. Tutkimusleimikoiden lähtöpuusto oli 2510—3420 runkoa/ha, josta poistettiin 1000 runkoa/ha poistettavan rungon keskikoon ollessa 50 dm³. Männikössä hakkuukone käsitteli noin 100 runkoa tehotunnissa, kuusikossa maastosta riippuen 55—80 puuta tehotunnissa. Kustannuksiltaan kone on Brunbergin ja Nilssonin (1988) mukaan kilpailukykyinen ajouralta toimivien yksiotteharvesterien kanssa helppossa maastossa 80 dm³ rungon kokoon asti. Kustannuslaskentaan sisältyy kuitenkin epävarmuustekijöitä. Tutkimuksen mukaan koneen lumessakululle 70 cm:n lumen syvyys on yläraja.

Mäkelä (1989a) vertaili hakkuukoneita männikön ensiharvennuksessa. Tutkimuksessa oli mukana myös pieniä hakkuukoneita sekä maataloustraktoriperustainen harvesteri. Tutkimuskohteiden lähtöpuusto oli keskimäärin 1780 runkoa/ha, josta poistettiin 580 runkoa/ha. Poistettavan rungon keskikoko oli 50 dm³. Pienillä yksiotteharvestereilla ajouraväli oli 15 m, tavanomaisilla yksiotteharvestereilla 30 m. Keskivyohyke kaadettiin tavanomaisille yksiotteharvestereille mestyönä. Lisäksi kokeiltiin koukkaumenetelmää, jossa harvesteri poikkesi ajouralta valmistukseen keskivyohykkeen puut.

Tehotuntituotos suurilla yksiotteharvestereilla oli koneen kaatamalla puilla 140—180 runkoa, hakkuumiehen kaatamalla 120—160 runkoa ja koukkaumenetelmää käytettäessä

90—120 runkoa. Pienet yksioteharvesterit käsittelivät 90—110 runkoa ja maataloustraktoriperustainen harvesteri 50—70 runkoa tehotunnissa. Kustannusvertailussa otettiin huomioon myös metsäkuljetus, joka tehtiin tavanomaisten harvestereiden jälkeen keskikokoisella kuormatraktorilla, pienen hakkuukoneen jäljiltä pienellä metsätraktorilla tai telamaasturilla ja maataloustraktoriperustaisen harvesterin jäljiltä maataloustraktorilla. Metsäkuljetuskustannus oli pienkoneilla huomattavasti suurempi kuin keskikokoisella kuormatraktorilla.

Verrattaessa pelkän hakkuutyön kustannuksia pienet hakkuukoneet olivat kilpailukykyisiä suurempien kanssa (Mäkelä 1989a). Maataloustraktoriperustainen harvesteri puolestaan oli kustannuksiltaan edellisiä kalliimpi. Koko korjuuketjun puitteissa pienkoneketju oli kuitenkin tavanomaista yksioteharvesteria ja keskikokoista kuormatraktoria hieman kalliimpi johtuen suuremmasta metsäkuljetuskustannuksesta.

Ruotsissa on tutkittu myös nyt tutkittuja hakkuukoneita kevyempää koneyksikköä (Karlsson 1988). Peruskoneena oli Terri 1020 -telamaasturi, joka oli varustettu Tapio 250 -harvesterilla. Koneyhdistelmä tunnetaan Ruotsissa nimellä Skonsam. Sitä on tutkittu sekä prosessorina että harvesterina. Prosessorina tuotos oli männikössä 7,0 m³ tehotunnissa poistettavien runkojen keskikoon ollessa 108 dm³. Harvesterina männikön ensiharvennuksessa poistettavan rungon koon ollessa 60 dm³ tehotuntituotos oli 3,6 m³ ja kuusikossa 62 dm³:n rungon koolla 3,3 m³.

Korjuujälki

Käsillä olevassa tutkimuksessa todettu keskimääräinen vaurioprocentti oli suhteellisen korkea, 5,0. Runkovaurioista 85 % oli pintavaurioita, joissa itse puuaines ei ollut vahingoittunut. Juurivaurioiden määrä oli suhteellisen pieni. Leimikot olivat kuitenkin pääasiassa kantavilla mäntymailla. Hakkuukone tekee eteensä hyvän havumaton, joka suojaa uraa myös metsäkuljetuksessa.

Tuloksissa herättää huomiota suuri ajoramäärä, joka laskennallisesti oli keskimäärin 28,9 % pinta-alasta. Jos metsäkuljetus tehdään pitkäulotteisella nosturilla varustetulla kuormatraktorilla, on huomattava osa urista kuitenkin ”haamu-uria”, joilla vain hakkuukone kulkee. Taitava kuljettaja voi

kapealla hakkuukoneella avata ”haamu-uran” aiheuttamatta haittaa puunkasvatukselle. Kuitenkin hänen katsotaan avanneen uran, jonka leveys hieman harvemmassa puustossa tulee laskennallisesti suureksi. Pienten hakkuukoneiden urien aiheuttamia menetyksiä arvioitaessa on tämä otettava huomioon.

Nyt todetut vauriomäärät ovat samansuuntaisia aiempien tulosten kanssa. Brunbergin & Nilssonin (1988) tutkimuksessa FMG 0470 Lillebrorin aiheuttama vaurioprocentti viidellä tutkimusleimikolla vaihteli välillä 0,9—4,3. Vauriot olivat valtaosin runkovaurioita, joista suurin osa sijaitsi ”haamu-urien” varressa. Kun kone teki uralle havutuksen, vaurioprocentti oli 4,8. Vaurioista 47 % oli juurivaurioita. Missä havustusta ei ollut, vaurioprocentti oli 6,8, ja vaurioista 74 % oli juurivaurioita. Tulos korostaa havutuksen merkitystä huonosti kantavilla mailla.

Eräs este Makeri-hakkuukoneiden yleistykselle Suomessa on vaara juuri- ja maaperävaurioista. Vaikka esimerkiksi Puolassa mäntykankailla tehdyissä kokeissa (Hakkila & Wojcik 1980) keskimääräinen vaurioprocentti oli vain 3,0, koneen toimintaperiaatteesta johtuen juurivaurioriski on erityisesti kuusikossa suuri. Ohjaus tapahtuu teloja eri nopeudella vedättämällä. Kun kone joutuu ajamaan puulta puulle, on juuristo alttiina vaurioille.

Mäkelän (1989a) tutkimuksessa selvitettiin tuotoksen ohella myös korjuuvaurioita, mutta tutkimuksessa otettiin huomioon vain runkovauriot. Hakkuukoneiden korjuujälki oli hyvä. Suurilla yksioteharvestereilla vaurioprocentti oli 0,3—2,5 ja pienillä yksioteharvestereilla 0,3—1,8.

Myös Hellströmin (1987) tutkimuksessa hakkuukoneiden vauriomäärät olivat kohtuullisella tasolla. Tuloksissa ovat mukana yli 20 cm²:n vauriot. Kun esimerkiksi Valmet 901 oli hakkuutavasta riippuen vaurioittanut 1,3—2,8 % jäävästä puustosta, Bruun Two -harvesterin vaurioprocentti oli 3,8 ja Grangärde-harvesterin 2,8.

Karlsson (1988) tutki Terriä varustettuna Tapio-harvesterilla. Prosessorina kone oli vaurioittanut 4,8 % jäävästä puustosta männikössä. Harvesterina männikössä vaurioprocentti oli 9,8 ja kuusikossa 3,6. Korkea vauriomäärä männikössä selittyy osin kuljettajan kokemattomuudella.

Vertailukohdaksi pienille hakkuukoneille sopii myös Kuiton & Mäkelän (1988) tutki-

mus Valmet 901:stä eri korjuumenetelmillä. Vaurioprosentti oli ensiharvennuksessa 0,5—2,6 ja toisessa harvennuksessa 1,7—4,5. Kun kuljettaja valitsi poistettavat puut, vaurioita syntyi vähemmän kuin etukäteen leimatuissa leimikoissa.

Myös Orke & Scherman (1986) tutkivat eri työskentelymenetelmiä Valmet 901:llä. Vaurioprosentti oli ensiharvennusmännikössä 2,3—7,4, ensiharvennuskuusikossa 3,8—5,7 ja kuusikon toisessa harvennuksessa 2,8—4,5. Menetelmässä, jossa hakkuumies kaatoi keskikaistan puut, vaurioita syntyi vähemmän kuin koneen tehdessä metsäkuljetusurien väliin ”haamu-uran”.

Yksi- ja kaksioteharvesterin vertailu

Myllykoskella tehdyssä kokeessa selvitettiin yksi- ja kaksioteharvesterin soveltuvuutta tiheäpuustoihin harvennusoloihin. Vertailua haittaa kuljettajan vaikutus, koska eri kone-tyypeillä oli eri kuljettajat. Molemmat koneet kykenivät työskentelemään tiheissä leimikoissa hyvin. Yksioteharvesteri osoittautui paremmin soveltuvaksi harvennuksiin. Kun puun käsittelypaikka voidaan valita vapaasti, puun liikuttelu vähenee, tuottavuus paranee ja vaurioriski pienenee. Erityisen suuri ero oli puutavaran ja kasojen laadussa. Kun kaksioteharvesteri pudottaa pölkyt maahan suhteellisen korkealta, kasat hajoavat helposti. Yksioteharvesterilla huolellinen kuljettaja sen sijaan pystyy tekemään hyvät kasat.

Myllykoskella tutkittiin myös käytettävissä olevan työtilan ja poistuman vaikutusta hakkuukoneiden työskentelyyn. Kun tilaa on vähän, työskentely vaikeutuu huomattavasti. Hakkuukone joutuu siirtymään paljon sopivan työskentelytilan löytämiseksi. Koneet pystyvät kuitenkin työskentelemään varsin pienessäkin tilassa. Näin joudutaan tekemäänkin ”haamu-uria” avattaessa.

Kokeessa todetut vauriomäärät olivat varsin pieniä erityisesti yksioteharvesterilla. Osaltaan tähän saattoi vaikuttaa se, että kuljettajat tiesivät vaurioitumista seurattavan. Pienillä hakkuukoneilla päästään tiheissäkin puustoissa hyvään korjuujälkeen, kunhan vain kuljettaja taitaa tehtävänsä.

Harstela & Maukonen (1983) tekivät Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimus- asemalla harvennussimulaattorilla Myllykosken koetta muistuttavan kokeen, jossa tutkittiin muun muassa eroavuuksia yksi- ja kak-

sioteprosessorien työskentelyssä. Simulaattorissa on koneet ja metsä rakennettu mitta-kaavassa 1:8 vastaamaan todellisuutta. Simulaattorilla voidaan luonnonolojen vaihtelu sulkea pois. Simulaattori ei anna kuvaa todellisesta tuottavuuden tasosta, mutta se soveltuu eri menetelmien välisten suhteiden selvittämiseen.

Suonenjoella tutkittiin prosessoreita myöhemmissä harvennuksissa jäävän puuston ollessa 700 ja 900 runkoa/ha. Tutkimuksessa selvitettiin mm. puuston tiheyden, kaatovan ja ajouraleveyden vaikutusta tuottavuuteen ja jäävän puuston vaurioitumiseen. Harstelan & Maukosen (1983) mukaan kaksio- ja yksioteprosessoreilla runkokohtaisen tehoaikojen suhde on kirjallisuudessa selostetuissa käytännön kokeissa ollut harvennuksissa 1:0,6. Simulaattorikokeissa tehoaikojen suhde oli 1:0,9, kun yksioteprosessori toi käsiteltävän rungon yli uran ja 1:0,7 rungon käsittelypaikan ollessa vapaa. Jäävän puuston tiheydellä ja ajouraleveydellä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta työskentelyyn. Tiheyden vaihtelu oli kuitenkin pieni ja uraleveys 4,0—5,8 m, eli merkittävästi suurempi kuin Myllykoskella.

Friberg (1985) vertaili vaurioriskiä yksi- ja kaksioteharvesterilla. Tutkimuksessa ei rekisteröity vaurioita, vaan jääviin puihin syntyviä kosketuksia. Tutkimuksessa otettiin huomioon ainoastaan puita prosessoitaessa syntyvät kosketukset, ei esimerkiksi koneen pyörien tai rungon aiheuttamia kosketuksia. Myös käsiteltävän puun latvuksen osuminen jäävään puuhun luettiin kosketukseksi, kun Myllykoskella rekisteröitiin ainoastaan puun rungon aiheuttamat kolhaisut. Fribergin (1985) toteamat kosketusmäärät olivat varsin suuret. Kun yksioteharvesterilla 37,4 % käsiteltävistä puista kosketettiin jäävää puuta, vastaava luku kaksioteprosessorilla oli 58 %. Käsiteltävä puu aiheutti lähes 90 % ja kuorman tai monitoimiosia loppuosan kosketuksista. Valtaosa kosketuksista syntyi käsiteltävää puuta siirrettäessä tai monitoimiosan läpi syötettäessä.

Pienet hakkuukoneet ovat varteenotettava vaihtoehto ensiharvennuksiin. Kun tekninen käyttöaste saadaan lähelle isojen hakkuukoneiden käyttöastetta, ja jos hankintahinnat pysyvät kohtuullisella tasolla, pienet hakkuukoneet ovat taloudellisesti kilpailukykyisiä. Korjuuvauriot eivät ole esteenä hakkuukoneiden käytölle, kun kuljettajat ovat ammattitaitoisia ja tiedostavat hyvän korjuujäl-

jen merkityksen. ”Haamu-urat” mukaanlukien uramäärä pienillä hakkuukoneilla on suhteellisen suuri. ”Haamu-urien” haittavai-
kutukset ovat kuitenkin vähäisiä verrattuna metsäkuljetusurien aiheuttamiin kasvutappi-

oihin. Koska ensiharvennuksessa luodaan pohja myös myöhempien harvennusten uras-
tolle, olisi urien suunnitteluun ja niistä annet-
taviin ohjeisiin kiinnitettävä entistä enemmän
huomiota.

7. YHDISTELMÄ

Tutkimus koostuu pienistä hakkuukoneista tehdyistä yksittäisistä aikatutkimuksista sekä vertailututkimuksesta, jossa yksi- ja kaksioteharvesterin työskentelyä tutkittiin vertailukelpoisissa olo-
suhteissa.

Tutkimusaineistoa kerättiin kolmesta eri kone-
merkistä. Telakarhua varustettuna Pika 36
-prosessorilla tutkittiin sekä prosessorina että
harvesterina. Harvesterina hakkuukoneen kaato-
päänä oli Pika 37. Toinen tutkittu kaksiotehar-
vesteri oli Nokka Joker varustettuna Hakki 400
-prosessorilla ja Nokka-kaatopäällä. Finntrac
4000 GS -yksioteharvesteria tutkittiin Keto 51- ja
Tapio 250 -monitoimilaitteilla varustettuna.

Tuottavuus

Puuston koko, hehtaarikohtainen kertymä ja
maasto vaikuttavat voimakkaasti pienten hak-
kuukoneiden tuottavuuteen. Korkein tehotunti-
tuotos oli 14 m³ väljennyshakkuussa kaksio-
teharvesterilla ja alhaisin 2,5 m³ työskenneltäessä
yksioteharvesterilla pienirunkoisessa ensiharven-
nusleimikossa, jossa oli runsaasti työskentelyä
haittaavaa markkinakelvotonta aluspuustoa.

Harvesterin ja prosessorin keskinäisen edulli-
suuden selvittämiseksi tutkittiin kaksioteharveste-
ria samalla leimikolla harvesterina ja prosessori-
na. Prosessorin tehotuntituotos oli ainoastaan 0,2
m³ suurempi kuin harvesterin.

Markkinakelvoton pienpuusto vaikeutti pien-
ten hakkuukoneiden työskentelyä. Tutkimustyö-
maalla, jolla raivauspuustoa oli runsaasti, osa
leimikosta raivattiin miestyönä. Raivatulla leimi-
kon osalla yksioteharvesterin tehotuntituotos oli
3,2 m³ ja raivaamattomalla osalla 2,5 m³.

Korjuujälki

Keskimääräinen vaurioprocentti tutkimusleimi-
koissa oli 5,0. Vauriomäärät olivat samaa tasoa
yksi- ja kaksiotemonitoimikoneilla. Vauriopiusta

86,7 % oli vaurioitunut runkoon, 7,7 % juuren-
niskaan ja 5,6 % juuristoon. Runkovaurioista
85 % oli pintavaurioita, joissa puuaines ei ollut
vahingoittunut. Yli 90 % runko- ja juurenniska-
vaurioista oli kooltaan alle 100 cm². Runkoon
vaurioituneista puista yli 30 % sijaitsi yli 3 m:n
etäisyydellä uran keskipisteestä.

Tutkimusleimikoissa oli ajouraa keskimäärin
781 m/ha. Uraleveys oli keskimäärin 3,7 m ja
uraväli 13,2 m. Uraa oli 28,9 % leimikoiden pin-
ta-alasta. Harvemmassa puustossa laskennallinen
uraleveys on suurempi kuin tila, jonka hakkuu-
kone tarvitsee työskennelläkseen. Suuri osa pien-
ten hakkuukoneiden urista on haamu-uria, joilla
kone kulkee ainoastaan kerran ja pystyy pienen
kokonsa ansiosta säästämään kasvatettavat puut.
Haamu-urien haittavaiikutukset ovat pienemmät
kuin metsäkuljetusurien ja taitava kuljettaja pys-
tyy avaamaan haamu-urat pienen metsänhoidolli-
sin tappiopin.

Yksi- ja kaksioteharvesterin vertailu

Yksi- ja kaksioteharvesterien työskentelyn analy-
soimiseksi järjestettiin vertaileva koe Myllykoski
Oy:n omistamissa tasaisissa istutuskuusikoissa.
Puut oli istutettu pelloille riveihin, ja tämä mah-
dollisti systemaattisen leimauksen. Kumpaakin
hakkuukonetta tutkittiin kahdella palstalla, joissa
kertymä ja koneiden työskentelytila olivat erilai-
set. Koneiden kuljettajina olivat jo yksittäisissä
aikatutkimuksissa mukana olleet, ammattitaitoi-
set urakoitsijat.

Yksioteharvesteri oli kaksioteharvesteria toi-
mivampi tiheäpuustoisessa ensiharvennuksessa.
Yksiotemonitoimikone voi vapaammin valita
puun käsittelypaikan, jolloin puun liikuttelu vä-
henee, tuottavuus paranee ja vaurioriski piene-
nee. Kun uraleveys pieni, hakkuukoneiden
työskentely vaikeutui. Konetta ja käsiteltäviä pui-
ta jouduttiin siirtelemään enemmän työskentelytil-
lan löytämiseksi. Yksioteharvesterilla runkokoh-
tainen tehoaika oli keskimäärin 60,5 cmin urale-

veyden ollessa 3,8 m ja 67,5 cmin uraleveyden ollessa 2,8 m.

Yksioteharvesterin liikemäärä (koneen liikkeit, nosturin liikkeit, hakkuutähteiden ja kasojen järjestely) oli pienempi kuin kaksioteharvesterilla. Palstalla, jossa uraleveys oli 3,8 m, yksioteharvesterin liikemäärä oli 144 m ja kaksioteharvesterin 175 m/hakattu m³.

Yksioteharvesteri aiheutti kosketuksia jäävään puustoon kaksioteharvesteria vähemmän. Yksioteharvesterin vauriomäärä, noin 1 % jäävästä puustosta, oli alhainen. Pölkkyjen pituuden mitaustarkkuus oli yksioteharvesterilla hyvä. Kaksioteharvesterin mitaustarkkuus oli huono joh-

tuen karsintavaikeuksista. Yksioteharvesterin kasojen laatu oli hyvä. Kaksiotemonitoimikoneella pölkyt tippuvat korkealta, ja lumettomassa maassa kasat hajoavat helposti.

Ensiharvennusten koneellistamistarve on tullut metsuripulan vuoksi eteen nopeasti. Kun pienet hakkuukoneet ovat teknisesti ja organisatorisesti uusia, käytännön kokemukset eivät aina ole olleet hyviä. Jos pienten hakkuukoneiden hankintahinnat pysyvät kohtuullisina, ja tekninen käytöaste nousee lähemmäs suurempia hakkuukoneita, pienet hakkuukoneet ovat varteenotettava vaihtoehto ensiharvennusten koneellistamiseen.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Appelroth, S-E. & Harstela, P. 1970. Tutkimuksia metsänviljelytyöstä I. Kourukuokka, kenttälapio, taimivakka, taimilaukku sekä istutuskonet Heger ja LDM-1 istutettaessa kuusta peltoon. Summary: Studies on afforestation work I. The use of the semi-circular hoe, the field spade, plant basket, plant bag and the Heger and LMD-1 tree planters in planting spruce in fields. *Folia Forestalia* 85. 32 s.
- Brunberg, B. 1988. Gallringsbehovet i slutet av 1980-talet en specialarbeting av Riksskogstaxeringen 1983-86. Skogsarbeten. Stencil 1987-12-21. 21 s.
- , & Nilsson, N. 1988. FMG 0470, Lillebror, beståndsgående engreppskördare för klena gallringar. Skogsarbeten Resultat 13. 4 s.
- Ensiharvennustyöryhmän muistio, 1988. Työryhmämuistio MMM 1988:27. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. 57 s.
- Eskelinen, A. 1988. Puunkorjuukustannusten vertailu 1988. Metsätehon moniste 30.5.1988. 22 s.
- Friberg, A. 1985. Skaderisker vid processorarbete i gallring. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Stencil 32. 38 s.
- Hakkila, P. & Wojcik, T. 1980. Thinning young pine stands with the Makeri tractor in Poland. Abstract: Makeri pientraktori nuoren männikön harvennuksessa Puolassa. Streszczenie: Proba zastosowania ciagnika Makeri do pozyskiwania drewna w trzebiezach drzewostanow sosnowych w Polsce. *Folia Forestalia* 433. 29 s.
- Harstela, P. & Maukonen, A. 1983. Tavanomainen ja kuoromainprossori varttuneissa harvennusemetsissä. Simulaattorikoe. Summary: A conventional and grapple loader processor in second and third thinnings. A simulator experiment. *Silva Fennica* 17(2):101-112.
- Hellström, C. 1987. Beståndsgående eller stickväsgående engreppskördare i förstagallring. Skogsarbeten Resultat 16. 4 s.
- Karlsson T. 1988. Tre studier av system Skonsam. Sveriges lantbruksuniversitet, Garpenberg. Småskogsnytt 2. s. 30-31.
- Kuitto, P-J. & Mäkelä, M. 1988. Kuoromainharvesteri ensimmäisissä ja toisissa harvennuksissa. Summary: Boom mounted harvester in first and second thinnings. *Metsätehon katsaus* 7. 4 s.
- Lilleberg, R. 1986. Harvennushakkuuleimikoiden korjuujälki kehittyneimpiä menetelmiä käytettäessä. *Metsätehon katsaus* 12. 4 s.
- & Raitanen, A. 1989. Etelä-Suomen harvennusemetsien määrä ja korjuolosuhteet vuosina 1988—2000. Summary: The amount of thinning forests in southern Finland — harvesting conditions 1988—2000. *Metsätehon tiedotus* 401. 19 s.
- Metsä- ja uittoalan työehtosopimus ja sen mukaiset metsätyöpalkkojen taulukot 1986. Palkkausalue 4. Helsinki.
- Metsäkoneiden myyntitilasto 1988. Metsätehon moniste 1.1.1989. 10 s.
- Mäkelä, M. 1989a. Koneellinen puunkorjuu männikön ensimmäisessä harvennuksessa. Summary: Mechanical harvesting in first thinning of pine stands. *Metsätehon katsaus* 2. 6 s.
- , 1989b. Koneellinen puunkorjuu kuusikon ensimmäisessä harvennuksessa. Summary: Mechanical harvesting in first thinnings of spruce stands. *Metsätehon katsaus* 10. 6 s.
- Orke, J. & Scherman, S. 1986. Olika arbetsmetoder med Valmet 901/935 i gallring. Skogsarbeten Resultat 2. 4 s.
- Risberg, S. 1988. ”Skonsam” - beståndsgående lättkvistskördare för gallringsskogen. Sveriges lantbruksuniversitet, Garpenberg. Småskogsnytt 2. s. 24-29.
- Scherman, S. 1988. Nya lösningar i gallningar. Rationaliseringskonferens 1988. Skogsarbeten Redogörelse 3. s. 64-68.
- Total of 20 references*

SUMMARY

Small multi-function machines in early thinning operations. A joint Nordic NSR-study

The study was composed of separate time studies and a comparative study, in which one-grip and two-grip harvesters were studied in similar conditions. Machine makes which were available on the market at the beginning of the study were chosen for the study. The small multi-function machine is the first contracting machine for many entrepreneurs. Nearly all entrepreneurs in the study had been loggers before. Although they had learned to use the machines quickly, both the newness of the machines as well as the contractors' inexperience may have had an effect on the study results.

The study material includes three different multi-function machines. The Telakarhu 2000 equipped with a Pika 36 processor was studied both as a processor and a harvester. The felling head of the harvester was Pika 37. The other two-grip harvester was the Nokka Joker equipped with a Hakki 400 processor and a Nokka felling head. The Finntrac 4000 GS one-grip harvester was studied with Keto 51 and Tapio 250 harvester heads.

Productivity

Stem size, yield per hectare and terrain have a definite effect on the output of the small multi-function machines. The highest output per effective hour was 14 m³ in a last thinning with a two-grip harvester and the lowest was 2.5 m³ with a one-grip harvester in a first thinning with much unmerchantable undergrowth.

In order to compare processor and harvester, a two-grip harvester was studied on the same stand as both harvester and processor. The output per effective hour was only 0.2 m³ greater with the processor than with the harvester.

On one of the sites the unmerchantable undergrowth was removed manually before the harvesting operation. The output per effective hour on the cleaned site was 3.2 m³ and on the uncleaned site 2.5 m³. If the hourly cost of the machine is set at 250 mk, the costs per hectare were 225 mk greater on the uncleaned area. The costs of manual cleaning was 175 mk/ha. Although a 50 mk difference can be easily absorbed by organizational expenses, it is also necessary to note the better state of stand after cleaning.

Harvesting trace

Forwarding after small multi-function machines is most often done with medium-sized forwarders. Strip roads are opened at 30 m intervals, and the small multi-function machine further opens two "ghost strips", from which the trees are moved towards the forwarding

strip roads. On poor bearing soils the logs are often forwarded with light tracked vehicles.

The average damage percentage on the study stands was 5.0 for both one-grip and two-grip harvesters. Stem damage accounted for 86.7 % of injuries, 7.7 % for root collar damage, and 5.6 % for root damage. Superficial damage, in which the wood was not injured, accounted for 85 % of all stem damage. Over 90 % of stem and root collar injuries were under 100 cm² in size. Over 30 % of damaged trees were situated further than 3 meters from the center of the strip road.

There was an average of 781 m/ha of strip road including "ghost strips" in the study stands. The average width of the strip was 3.70 m and the strip interval 13.2 m. The strips covered 28.9 % of the stands. However, strip road width is a computational conception. In more thinly populated stands the computational strip road width is larger than the area that the machine actually needs for working. The majority of the strips for the small multi-function machines are "ghost strips", on which the machine travels once and is able to avoid the residual stock because of its small size. "Ghost strips" have less disadvantage than forwarding strip roads. It can be assumed that a skilled operator is able to open "ghost strips" with little silvicultural loss.

Comparative study on one- and two-grip harvesters

In order to analyze working characteristics, one-grip and two-grip harvesters were studied in similar conditions in a Norway spruce plantation established in abandoned farm land by the Myllykoski Paper Mills 25 years ago. The trees were in right rows which made systematic thinning possible. Both machines were studied on two plots, in which the removal, and consequently, working space were different.

In addition to the time study, the movements of the machines and the amount of hits with the residual stock were registered. The working space of the machine and the effect of tree location were also specified. Overall, the one-grip harvester performed better than the two-grip harvester in the study. The one-grip harvester can better choose the processing place, and since the tree is moved less, output increases and risk of damage decreases.

Available space had an effect on the performance of the machines. Narrowing strip roads resulted in reduced output as more time had to be spent maneuvering machine and tree to find adequate working space. For example, the average effective time per stem of the one-grip harvester was 60.5 cmin with a strip width of 3.8 m, but 67.5 cmin with 2.8 m strip roads.

The one-grip harvester required less work motion.

On the plot with a strip road width of 3.8 m, the movements of one-grip harvester added up to 144 m³ produced (consisting of the moves of the base machine, crane boom and moving of slash and piles), while total length of the movements of the two-grip harvester was 175 m³.

The one-grip harvester caused less damage than the two-grip harvester. The amount of damage with the one-grip harvester, about 1 % of the residual stock, was low. The bucking accuracy of the one-grip harvester was good. The two-grip harvester had poor length accuracy due to difficulties in delimiting. Pile formation was better with the one-grip harvester as well. Bolts are

dropped from quite high with the two-grip harvester and with no snow on the ground rolling logs are scattered easily.

The need for the mechanization of first thinnings has arisen faster than expected because of a shortage of loggers. Since small multi-function machines are both technically and organizationally a new concept, practical application is not yet without problems. However, if the prices of these machines remain at a reasonable level, and the technical availability rises nearer to that of larger machines, small multi-function machines will provide a viable alternative for the mechanization of first thinnings.

LIITE 1. TUTKIMUSKONEIDEN TEKNISET TIEDOT

Telakarhu 2000

Telakarhu 2000 on runko-ohjattava maastoajoneuvo. Edessä ja takana on samanlaiset, kahden telinä toimivan telapyörän päälle asennetut telat. Telapyörät ovat muovipäällysteiset. Telakarhussa on hydrostaattinen voimansiirto sekä edessä että takana. Voimansiirto teille on järjestetty kärkepyörillä.

Hakkuukonekäytössä moottorina on kuusisylinterinen Kubota 2800 B, jonka teho on 41 kW. Nosturina on RKP-2900 ulottuvuudeltaan 7,4 m.

Koneen massa ja mitat ovat valmistajan mukaan seuraavat:

Massa, kg	4060
Kantavuus, kg	2500
Pituus, m	5,43—5,85
Leveys, m	1,70
Maavara, m	0,36

Pika 36 -prosessori

Pika 36 on joko maataloustraktorin kolmipistelaiteisiin tai peruskoneen rungolle asennettava prosessori. Puut syötetään kahdella metallirullalla ja karsitaan kahdella liikkuvalla ja yhdellä kiinteällä karsintaterällä. Puun syöttönopeus on 2,7 m/s ja suurin karsintaläpimitta 35 cm. Puut katkotaan ketjusahalla, jonka ketjunopeus on 28 m/s ja katkonaläpimitta 36 cm. Pituus mitataan sähköisesti, ja katkaisukohdalle on 10 automaattista esivalintaa. Prosessoriosan massa on 550 kg.

Pika 37 -kaatopää

Pika 37 on vapaasti kaatava kaatopää. Puu katkaistaan ketjusahalla, suurin katkaisuläpimitta on 36 cm. Kaatopään massa on 130 kg.

Nokka Joker

Nokka Joker on Nokka-Koneet Oy:n valmistama runko-ohjattava maastoajoneuvo. Metsäkuljetuskäytössä kone on varustettu kolmella telaparilla, joista kaksi on takarungolla. Kuormatilassa on nivel, joten kuormatila pääsee kiertymään. Kaikki telaparit seuraavat samoja jälkiä. Hakkuukonekäytössä takimmaimen telapari riisutaan pois. Voimansiirto on hydrostaattinen, kussakin telassa on oma hydraulimoottori.

Koneen moottori on Perkins 4—236 teholtaan 60 kW.

Koneen massa ja mitat ovat seuraavat:

Massa, kg	6500
Kantavuus, kg	4000
Pituus, m	7,20
Leveys, m	1,93
Maavara, m	0,55

Tutkimuskoneen nosturi oli Nokka 3410 H ulottuvuudeltaan 7,5 m.

Nokka 400 -prosessori

Nokka 400 on peruskoneen rungolle tai maataloustraktorin kolmipistelaiteisiin asennettava prosessori. Puut syötetään kahdella metallirullalla ja karsitaan kahdella liikkuvalla ja yhdellä kiinteällä karsintaterällä. Puun suurin syöttönopeus on 3,5 m/s. Puut katkotaan ketjusahalla, jonka suurin katkaisuläpimitta on 35 cm.

Nokka-kaatopää

Nokka-kaatopää on varustettu hydraulisella kaatosylinterillä. Puut kaadetaan ketjusahalla, ja suurin katkaisuläpimitta on 40 cm. Kaatopään massa on 130 kg.

Finntrac 4000 GS

Finntrac 4000 GS on Pekka Saari Ky:n, sittemmin Norcar Metsäkoneryhmän merkillä Norcar 350 H valmistama yksiotharvesteri. Peruskoneessa on teräsripaiset kumitelat. Voiman-siirto on hydrostaattinen. Moottori on Iveco 8401—1 05 teholtaan 59 kW. Koneen massa monitoimiosan kanssa on 5500 kg, pituus 5,39 m, leveys 1,70 m ja maavara 0,50 m.

Koneen nosturi oli RKP 3865 ulottuvuudeltaan 7,0 m.

Keto 51 -harvesterilaite

Keto 51 on Kone-Ketonen Ky:n valmistama harvesterilaite, jonka massa on 320 kg. Laitteen hydraulijärjestelmä toimii vakiopaineella ja tehon tarve on 70 kW. Puiden syöttö tapahtuu telaketjuilla, syöttövoima on 20

kN ja suurin syöttönopeus 3,8 m/s. Suurin kaatoläpimitta laitteella on 40 cm. Puut karsitaan yhdellä kiinteällä ja kahdella liikkuvalla terällä, suurin karsintäläpimitta on 30 cm. Katkaisu tapahtuu ketjusahalla, jonka suurin katkaisuläpimitta on 40 cm ja ketjunopeus 35 m/s. Laitetta toimitetaan useilla eri mittalaitteilla.

Tapio 250 -harvesterilaite

Tapio 250 on Soinin Metalli Oy:n valmistama harvesterilaite, jonka massa on 260 kg. Laitteessa on avoin hydraulijärjestelmä, jonka tehon tarve on 30 kW. Puiden syöttö tapahtuu sykeperiaatteella, ja syöttönopeus on 1 m/s. Suurin kaatoläpimitta laitteella on 40 cm. Puut karsitaan yhdellä kiinteällä ja kahdella liikkuvalla terällä, suurin karsintäläpimitta on 40 cm. Katkaisu tapahtuu ketjusahalla, jonka suurin katkaisuläpimitta on 35 cm ja ketjunopeus 42 m/s. Mittalaitteena on EP-Elektroniiikan mittalaite, jossa on 6 esivalittavaa pituutta.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 82 912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Field Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* PL 16
96301 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Field Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

FOLIA FORESTALIA



- No 735 Salonen, Tommi & Oja, Seppo: Metsätutkimuslaitoksen julkaisut 1988. Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1988.
- No 736 Poikajärvi, Helena, Sepponen, Pentti & Varmola, Martti (toim.): Tutkimus luonnonsuojelualueilla. Research activities on the nature conservation areas.
- No 737 Lyly, Olavi & Kurki, Hannu: Fenoksiherbisidit ja glyfosaatti kasveissa. Kirjallisuuskatsaus. Phenoxy herbicides and glyphosate in plants. Literature review.
- No 738 Raulo, Jyrki & Hokkanen, Tatu: Harmaa- ja tervalepän karikesato. Litter fall of *Alnus incana* and *Alnus glutinosa*.
- No 739 Ripatti, Pekka & Reunala, Aarne: Yksityismetsälöiden lukumäärän kehitys rekisteritietojen perusteella. Utvecklingen av antalet privata skogsbruksenheter på basen av registeruppgifter. Development of the number of private forest holdings in Finland.
- No 740 Hämmäläinen, Jouko, Laakkonen, Olavi & Kukkola, Mikko: Toistuvan lannoituksen kannattavuus kangasmailla. Profitability of repeated fertilization on mineral soils.
- No 741 Laakkonen, Olavi: Toistuvan lannoituksen kannattavuus Etelä-Suomen kuivahkon kankaan männiköissä. The profitability of repetitive fertilization in pine stands on dryish mineral soils in southern Finland.
- No 742 Silfverberg, Klaus & Hotanen, Juha-Pekka: Puuntuuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland.
- No 743 Sirén, Matti: Pienet hakkuukoneet varhaisissa harvennushakkuissa. NSR-tutkimus. Small multi-function machines in early thinning operations. A joint Nordic NSR-study.
- No 744 Ferm, Ari: Nuorten vesasyntyisten hieskoivikoiden kehitys ja lahoisuus turvemaalla. Development and decay of young *Betula pubescens* coppice stands on peatland.
- No 745 Rikala, Risto & Huurinainen, Seppo: Lannoituksen vaikutus kaksivuotisten männyn paakkutaimien kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen. Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year-old containerized Scots pine seedlings.